

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И.В. Коваленко
«___» _____ 20__ г

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02.04 - Электрические станции

Тема выпускной квалификационной работы: «Разработка лабораторного
стенда, моделирующего работу интеллектуальной сети и ВИЭ»

Руководитель _____ к. т. н, доцент кафедры «ЭСиЭЭС» А. В. Бобров

Выпускник _____ П. В. Соколов

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И.В. Коваленко
«__» _____ 20__ г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Соколову Павлу Валерьевичу
Группа ФЭ14-03Б Направление (специальность) 13.03.02.04
Электроэнергетика и электротехника, Электрические станции (профиль)
Тема выпускной квалификационной работы
«Разработка стенда, моделирующего работу интеллектуальной сети и ВИЭ»

Утверждена приказом по университету № 18149/с от 22.12.2017

Руководитель ВКР Бобров Алексей Васильевич
канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы», Политехнический институт

Исходные данные для ВКР

Возобновляемым источником энергии для стенда является энергия солнца.

Перечень разделов ВКР: «Введение», «Выбор основного оборудования», «Расчет токов короткого замыкания», «Выбор коммутационного, измерительного и вспомогательного оборудования, соединительных проводов», «Сводный сметный расчет», «Сборка лабораторного стенда».

Перечень графического материала: «Электрическая схема», «Внешний вид пульта управления», «Пульт управления», «Панель управления», «Внешний вид установки имитации инсоляции», «Установка имитации инсоляции».

Руководитель _____ А. В. Бобров

Выпускник _____ П. В. Соколов

«___» _____ 20__ г

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка стенда, моделирующего работу интеллектуальной сети и ВИЭ» содержит 93 страницы текстового документа, 97 рисунков, 54 таблицы, 37 использованных источников, 6 листов графического материала.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАГОРОДНОГО ДОМА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ, РАСЧЕТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ, СТРУКТУРНАЯ СХЕМА, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ВЫБОР КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ, ВЫБОР СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ПРОВОДОВ, СВОДНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ, СБОРКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка стенда, моделирующего работу интеллектуальной сети и ВИЭ.

В ходе работы произведены:

- расчет и выбор основного фотоэлектрического и электрического оборудования;
- разработка электрической схемы;
- определение токов коротких замыканий;
- выбор коммутационного, измерительного и вспомогательного оборудования, соединительных проводов;
- сметный расчет, составлена сводная смета затрат;
- сборка лабораторного стенда;
- пусконаладочные работы.

					СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Соколов П.В.			Разработка стенда, моделирующего работу интеллектуальной сети и ВИЭ			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Бобров А.В.							2	99
								Кафедра «ЭС и ЭЭС»		
Н. Контр.		Бобров А.В.								
Утверд.		Коваленко И.В.								

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Возобновляемая энергетика и интеллектуальные сети.....	6
1.1 Возобновляемые источники энергии	6
1.2 Энергия солнца.....	6
1.3 Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую	7
1.4 Интеллектуальная сеть	8
2 Расчет фотоэлектрической части.....	8
2.1 Выбор типа фотоэлектрических модулей.....	8
2.2 Выбор количества фотоэлектрических модулей	10
3 Расчет электрической части	14
3.1 Общая структурная схема установки.....	14
3.2 Выбор аккумуляторной батареи	15
3.3 Выбор контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи	18
3.4 Выбор инвертора	22
3.5 Электрическая схема установки	26
3.6 Расчет токов короткого замыкания	27
3.6.1 Короткое замыкание в точке К-1.....	31
3.6.2 Короткое замыкание в точке К-2.....	33
3.6.3 Короткое замыкание в точке К-3.....	36
3.6.4 Короткое замыкание в точке К-4.....	38
3.7 Расчет максимальных рабочих токов.....	40
3.8 Выбор коммутационных аппаратов	40
3.8.1 Выбор автоматического выключателя.....	41
3.8.2 Выбор предохранителей.....	43
3.8.3 Выбор выключателей нагрузки на стороне 12 В	45
3.8.4 Выбор выключателей нагрузки на стороне 220 В	50
3.8.5 Выбор магнитного пускателя.....	54
3.9 Выбор соединительных проводов	55
3.9.1 Выбор кабеля от фотоэлектрических модулей до лабораторного стенда.....	56
3.9.2 Выбор кабеля от аккумуляторной батареи до контроллера	57

ВВЕДЕНИЕ

Энергопотребление мировой экономики растет с каждым годом, а это означает, что рано или поздно запасы таких полезных ископаемых, как нефть, газ и уголь, будут исчерпаны. Возникает вопрос – чем их заменить? Поиск ответа на него заставляет человечество исследовать источники энергии, называемые возобновляемыми. Среди них наиболее популярными являются солнце, ветер и движение вод. Возобновляемым источникам энергии стоит уделять особое внимание, ведь они непрерывно «возобновляются», то есть являются практически вечными. Но они, также, имеют и существенный недостаток - суточную, сезонную и погодную нестабильность. Для надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей от такого рода источников целесообразно создание и использование интеллектуальных сетей.

«Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением»¹.

Задачей выпускной квалификационной работы является разработка лабораторного стенда, имитирующего работу интеллектуальной сети и возобновляемого источника энергии. В качестве возобновляемого источника энергии выступает фотоэлектрическая установка. Оборудование для лабораторного стенда выбирается по расчетам для системы электроснабжения небольшого дома. Это приближает лабораторный стенд к реальным установкам и делает возможным изучение характеристик в реальных масштабах, что значительно лучше работы с уменьшенной или упрощенной моделью.

¹Ломоносов М.В. Избранные философские произведения. М., 1950. С. 93-759.

1 Возобновляемая энергетика и интеллектуальные сети

1.1 Возобновляемые источники энергии

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, в жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества. Начало создания правового (законодательного) обеспечения использования ВИЭ в России положено Федеральным законом № 250-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России» от 18 октября 2007 г. Этим законом внесены поправки в Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» и дано следующее определение: ВИЭ – «энергия солнца, энергия ветра, энергия вод (в том числе энергия сточных вод), за исключением случаев использования такой энергии на гидроаккумулирующих электроэнергетических станциях, энергия приливов, энергия волн водных объектов, в том числе водоемов, рек, морей, океанов, геотермальная энергия с использованием природных подземных теплоносителей, низкопотенциальная тепловая энергия земли, воздуха, воды с использованием специальных теплоносителей, биомасса, включающая в себя специально выращенные для получения энергии растения, в том числе деревья, а также отходы производства и потребления, за исключением отходов, полученных в процессе использования углеводородного сырья и топлива, биогаз, газ, выделяемый отходами производства и потребления на свалках таких отходов, газ, образующийся на угольных разработках» [1].

1.2 Энергия солнца

Солнечная энергия приобретает популярность во многих странах, в том числе и потому, что цена фотоэлементов и преобразователей для них стремительно снижается, благодаря развитию новых технологий. Солнечная энергия вполне может конкурировать с энергией, получаемой из ископаемого топлива. В зонах, где прокладка традиционных электрических сетей затруднена, солнечный свет становится важным альтернативным источником энергии. Солнечная энергия является чистым, неиссякаемым (по человеческим масштабам) источником энергии и в недалеком будущем может стать одним из основных, так как ожидается топливный дефицит в традиционной энергетике [2].

Способы преобразования солнечной радиации различны и зависят от конструкции солнечной электростанции. Способы получения электричества из солнечного излучения:

- прямое получение электроэнергии с помощью фотоэлементов;
- преобразование солнечной энергии в электричество с помощью тепловых машин.

1.3 Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую

Прямое преобразование солнечной световой энергии в энергию электрическую возможно благодаря использованию полупроводниковых фотоэлементов. Полупроводниковые фотоэлементы стали широко применяться благодаря их использованию в космической аппаратуре. Со временем фотоэлементы нашли применение для решения энергообеспечения земных объектов – от бытовых до промышленных. В основе работы фотоэлемента лежит вентильный фотоэффект – возникновение ЭДС при освещении структуры, состоящей из разнородных элементов. Составляющими такой структуры могут быть металл и полупроводник (контакт Шоттки); два полупроводника с различным типом проводимости (р-п-переход); два полупроводника, различных по химическому составу (гетероструктура).

В основе вентильного фотоэффекта лежат два фундаментальных явления – внутренний фотоэффект и пространственное разделение разноименных неравновесных носителей заряда. Внутренний фотоэффект – это явление генерации неравновесных носителей заряда при облучении полупроводника электромагнитным излучением с энергией квантов, достаточной для такой генерации. Максимальный КПД солнечных батарей возможен только в случае «собственной фотопроводимости», т. е. ситуации, когда при поглощении кванта света происходит переход электрона из валентной зоны в зону проводимости и появляется пара неравновесных носителей заряда – электрон и дырка. Эти неравновесные носители заряда пространственно не разделены, и фото-ЭДС не возникает, пока электрон и дырка не будут разнесены в пространстве. Данную функцию выполняет контакт между полупроводником и металлом (контакт Шоттки) или между полупроводниками (р-п-переход, гетероструктура) [2].

Из определенного набора фотоэлементов собираются фотоэлектрические модули (ФЭМ), имеющие вид панелей разной площади. Основными преимуществами использования ФЭМ являются:

- общедоступность и неисчерпаемость источника энергии;
- автономность функционирования;
- экологическая безопасность;
- длительный срок службы (более 25 лет);
- модульность (возможность масштабирования мощности);
- удобство транспортировки и монтажа.

1.4 Интеллектуальная сеть

Существует множество трактовок понятия «интеллектуальные сети», но наиболее емким можно считать определение, данное Т. Капетановичем, членом Форума по вопросам развития интеллектуальных энергосистем (Smart Grids Forum). Интеллектуальная энергосеть – это электрическая сеть, позволяющая эффективно координировать действия всех подключенных к ней объектов: генераторов электроэнергии, ее потребителей, а также объектов, объединяющих обе эти функции – с целью создания экономически рентабельной и стабильной энергосистемы с низкими потерями и высоким уровнем безопасности и качества энергоснабжения. Для построения интеллектуальной энергосети используются инновационные продукты и услуги, а также технологии интеллектуального мониторинга и контроля, коммутации и восстановления, что помогает [3]:

- облегчить подключение и эксплуатацию генераторов любого размера;
- вовлечь потребителей в процесс оптимизации работы энергосистемы;
- обеспечить абонентов необходимой информацией и предоставить им возможность самостоятельно выбирать метод энергоснабжения;
- значительно сократить влияние энергосистемы на окружающую среду;
- поддержать или даже поднять существующий уровень надежности, качества и безопасности энергоснабжения;
- повысить эффективность оказываемых услуг;
- стимулировать интеграцию в европейский рынок.

2 Расчет фотоэлектрической части

Расчет фотоэлектрической части лабораторного стенда произведен для интеллектуальной системы электроснабжения небольшого загородного дома.

2.1 Выбор типа фотоэлектрических модулей

В качестве источников, генерирующих мощность, приняты монокристаллические ФЭМ BLD100-36М производителя «BLD Solar Technology Co.» (Китай), а также поликристаллические ФЭМ Exmork ФСМ-100П производства компании «Sunny Energy Science and Technology» (Китай).

Солнечные модули (СМ) представляют из себя сборку солнечных ячеек класса качества – А от JA Solar (Китай), обрамленных рамкой из анодированного алюминия, под закаленным стеклом с антибликовым покрытием. Светопроницаемость стекла составляет 97%. Стекло способно выдерживать ветровые нагрузки до 60 м/с (200 кг на квадратный метр) или попадание без повреждения металлического шарика 227 г., с высоты 1 метр,

что полностью позволяет выдерживать крупный град. При производстве модулей ячейки ламинируются. Ламинат - Hi-sheet RC 02B (Япония) толщиной 0,45 мм. В качестве подкладки выступает фольгированный материал PTL3-38/75 толщиной 0,17 мм. компании Krempel (Германия). На обратной стороне модуля находится распределительная коробка. Класс защиты корпуса и распределительной коробки - IP65 [4].

Параметры солнечных модулей измерены при стандартных условиях (освещенности 1000 Вт/м² и температуре 25 °С) заводом изготовителем и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры солнечных модулей

	BLD100-36M	Exmork ФСМ-100П
Номинальное напряжение, В	12	12
Пиковая мощность, Вт	100 (±3%)	100 (±3%)
Напряжение при пиковой мощности, В	18,680	20,730
Ток при пиковой мощности, А	5,350	4,825
Напряжение холостого хода, В	22,410	23,830
Ток короткого замыкания, А	6,040	5,062
Оптимальная температура ячеек без потери мощности, °С	45±2	47±2
Максимальное напряжение в системе, В	1000	1000
Температура эксплуатации, °С	-40 ~+85	-40 ~+85
Класс качества ячейки	A	A
Количество ячеек, шт	36	36
Размер (ДхШхГ)	1200х550х35	1000х670х35
Вес, кг	8	7

Внешний вид ФЭМ представлен на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Фотоэлектрический модуль BLD100-36M



Рисунок 2 – Фотоэлектрический модуль Exmork ФСМ-100П

2.2 Выбор количества фотоэлектрических модулей

Определение необходимого количество ФЭМ, шт:

$$N = \frac{1,2 \cdot \sum W_{\text{ПОТР}}}{W_{\text{ВЫР}}}, \quad (1)$$

где $\sum W_{\text{ПОТР}}$, - суммарная электрическая энергия необходимая потребителям за сутки, Вт·ч;

$W_{\text{ВЫР}}$, - электрическая энергия, вырабатываемая солнечными модулями за сутки, Вт·ч;

1,2 – коэффициент, учитывающий потери при зарядке аккумуляторной батареи.

Для расчета необходимой потребителям электрической энергии составлены таблицы 2 и 3 расходов электрической энергии в летнее и зимнее время.

Таблица 2 – Расход электрической энергии загородного дома летом

Потребитель	Мощность, Вт	Количество, шт	Время работы в сутки, ч	Потребляемая электроэнергия в сутки, Вт·ч
Охранный комплекс GSM в комплекте с датчиками и сиреной	1,9	1	24	45,6
Лампа энергосберегающая светодиодная	12	4	7	336
Холодильник класса энергоэффективности A+++	190	1	3	570
Персональный компьютер и монитор	300	1	2	600
Итого ($\sum W_{\text{ПОТР}}^{\text{ЛЕТН}}$)				1551,6

Таблица 3 – Расход электрической энергии загородного дома зимой

Потребитель	Мощность, Вт	Количество, шт	Время работы в сутки, ч	Потребляемая электроэнергия в сутки, Вт·ч
Охранный комплекс GSM в комплекте с датчиками и сиреной	1,9	1	24	45,6
Лампа энергосберегающая светодиодная	12	2	7	84
Итого ($\sum W_{ПОТР}^{ЗИМН}$)				213,6

В таблицах 2 и 3 представлены потребители, для которых необходима бесперебойная работа в моменты отключения от электрической сети.

Потребляемая электроэнергия за сутки в таблицах 2 и 3 рассчитывается как произведение мощности потребителей на их количество и на время работы за одни сутки.

Для определения выработки ФЭМ используется таблица суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность для Красноярского края [5]. Для расчетов используются данные по городу Красноярску.

Таблица 4 - Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м²

Красноярский край	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ванавара	40	113	290	448	513	605	596	422	256	119	50	23
Визе, остров	0	0	80	358	618	622	471	256	84	10	0	0
Голомянный, остров	0	0	78	362	640	682	540	295	98	10	0	0
Диксон, остров	0	17	152	408	645	584	496	295	126	35	0	0
Енисейск	46	130	312	471	534	603	626	429	251	130	61	36
Игарка	4	54	230	456	662	649	666	440	184	80	17	0
Красноярск	46	147	327	444	486	620	578	377	243	163	67	34
Минусинск	80	160	345	456	584	636	640	513	341	192	96	58
Норильск	2	29	230	389	595	595	595	314	155	63	8	0
Солянка	76	166	362	464	550	660	624	482	300	178	84	50
Тура	17	78	253	444	552	567	584	368	209	100	29	4
Туруханск	10	69	245	442	590	586	598	385	182	81	23	2

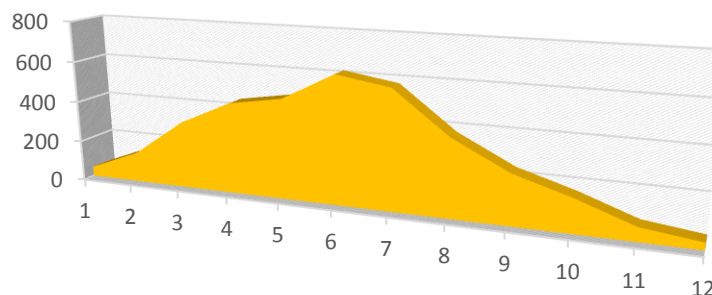


Рисунок 3 - Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность для Красноярска, МДж/м²

Расчет выработки одного ФЭМ за сутки, Вт·ч:

$$W_{\text{ВЫР}} = \frac{\sum_{n=1}^m E}{3,6 \cdot m \cdot p} \cdot \frac{P_{\text{ФЭМ}}}{P_{\text{ИНС}}}, \quad (2)$$

где E – суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность за месяц, МДж/м²;

$P_{\text{ФЭМ}}$ - мощность фотоэлектрического модуля, Вт;

$P_{\text{ИНС}}$ - максимальная мощность инсоляции 1 м² земной поверхности, кВт/ м² (принимается равной 1 кВт/ м²);

m - число месяцев в расчетном сезоне;

p - число дней в месяце;

3,6 – коэффициент перевода МДж в кВт·ч.

$$W_{\text{ВЫР}}^{\text{ЛЕТН}} = \frac{620 + 578 + 377}{3,6 \cdot 3 \cdot 31} \cdot \frac{100}{1} \cdot 0,7 \approx 470,4,$$

$$W_{\text{ВЫР}}^{\text{ЗИМН}} = \frac{34 + 46 + 147}{3,6 \cdot 3 \cdot 31} \cdot \frac{100}{1} \cdot 1,0 \approx 67,8.$$

Необходимое количество ФЭМ для покрытия нагрузки в летнее время года по формуле (1):

$$N_{\text{ЛЕТН}} = \frac{1,2 \cdot \sum W_{\text{ПОТР}}^{\text{ЛЕТН}}}{W_{\text{ВЫР}}^{\text{ЛЕТН}}} = \frac{1,2 \cdot 1551,6}{470,4} = 3,96 \approx 4.$$

Необходимое количество ФЭМ для покрытия нагрузки в зимнее время года по формуле (1):

$$N_{\text{ЗИМН}} = \frac{1,2 \cdot \sum W_{\text{ПОТР}}^{\text{ЗИМН}}}{W_{\text{ВЫР}}^{\text{ЗИМН}}} = \frac{1,2 \cdot 213,6}{67,8} = 3,78 \approx 4.$$

На основании расчетов принято количество ФЭМ равное четырем.

Осуществлена проверка правильности расчетов On-line калькулятором солнечной энергии от компании Helios House Co Ltd. [6]. Для этого введены в формы на сайте количество ФЭМ, их мощность. Указана средняя нагрузка летом и зимой. Выбрано местоположения ФЭМ на карте. On-line калькулятор также позволяет определить время автономной работы от аккумулятора. На время проверки расчетов принята емкость аккумулятора равная 40 А·ч.

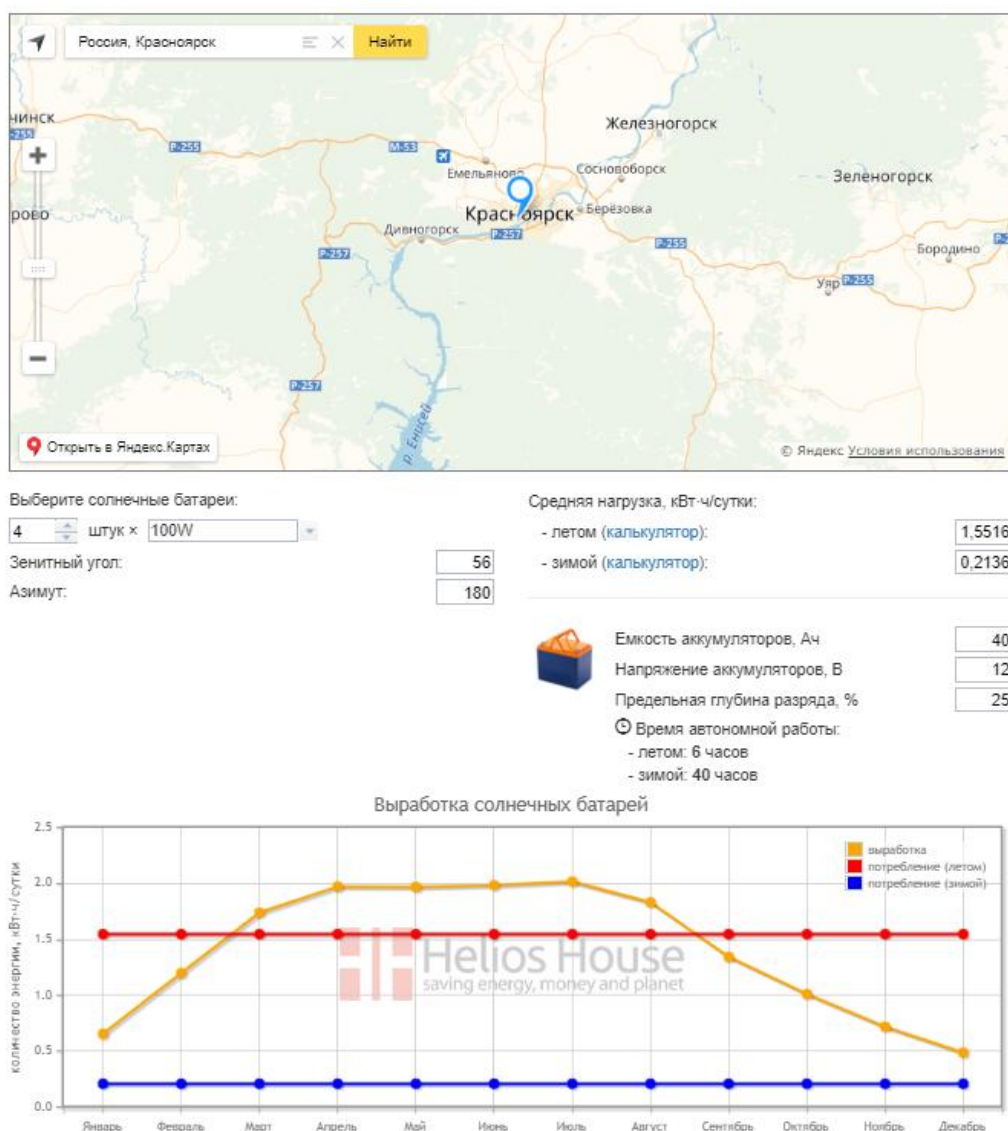


Рисунок 4 – Результат расчетов On-line калькулятора солнечной энергии

Произведем анализ диаграммы на рисунке 4. Линия выработки энергии ФЭМ (оранжевая) находится выше линии потребления летом (красная) для летнего времени года и выше линии потребления зимой (синяя) для зимнего времени года. Таким образом данные расчетов On-line

калькулятора подтверждают правильность выбора числа фотоэлектрических преобразователей.

3 Расчет электрической части

Расчет электрической части лабораторного стенда произведен для интеллектуальной системы электроснабжения небольшого загородного дома.

3.1 Общая структурная схема установки

На основании исходных данных составлена структурная схема фотоэлектрической установки (ФЭУ).



Рисунок 5 – Структурная схема ФЭУ

ФЭМ присоединяются к контроллеру при помощи проводов. Коммутационная аппаратура (на структурной схеме не показана) позволяет подключать как один любой из четырех ФЭМ, так и любую их комбинацию, допуская включение всех четырех модулей. ФЭМ включаются параллельно. Так же реализована функция включения ФЭМ через диод Шоттки.

Для преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока используется инвертор, который, в свою очередь, подключается к контроллеру и к электрической бытовой сети 220 В. В случае нарушения электроснабжения сети или значительного ухудшения параметров качества электрической энергии, инвертор способен мгновенно отключить потребителей электрической энергии от сети и осуществлять их питание от ФЭМ и аккумуляторной батареи через контроллер.

Аккумуляторная батарея (АКБ) служит для резерва электрической энергии при недостаточной инсоляции ФЭМ, а также при ее отсутствии в темное время суток.

Контроллер необходим для отслеживания точки максимальной мощности в фотоэлектрическом массиве, что в свою очередь позволяет

получить максимальное количество солнечной энергии при любой погоде. Также контроллер осуществляет распределение потоков электрической мощности между ФЭМ, АКБ, инвертором и нагрузкой 12 В. Электронная защита контроллера позволит избежать повреждений.

3.2 Выбор аккумуляторной батареи

ФЭУ позволяет вырабатывать электрическую энергию и передавать ее потребителям только в светлое время суток при наличии достаточного солнечного излучения. Для достижения бесперебойности электроснабжения в темное время суток, а также при недостаточной инсоляции вызванной облачностью, затенением от местных предметов следует использовать аккумулялирование электрической энергии. При работе установки без контроллера, в случае, когда АКБ подключена параллельно с ФЭМ, нестабильное выходное напряжение ФЭМ сглаживается АКБ и достигается эффект стабильности выходного питающего напряжения. В ФЭУ АКБ работает в буферном режиме, то есть постоянно подключена как к источнику электрической энергии, так и к ее потребителю и находится на постоянной подзарядке, компенсирующей ее саморазряд, а в моменты отсутствия зарядного тока сама становится источником напряжения для потребителей.

Произведем расчет необходимых для выбора АКБ данных:

Ток разряда АКБ, А:

$$I_{PA3P} = \frac{P_{\Phi\mathcal{Y}}}{U_{HOM}}, \quad (3)$$

где $P_{\Phi\mathcal{Y}}$ – мощность фотоэлектрической установки, Вт;

U_{HOM} – номинальное напряжение аккумуляторной батареи, В.

$$I_{PA3P} = \frac{400}{12} \approx 33,3$$

Емкость АКБ, А·ч:

$$Q_{AB} = I_{PA3P} \cdot t_{PA3P}, \quad (4)$$

где I_{PA3P} – ток разряда аккумуляторной батареи, А;

t_{PA3P} – время разряда аккумуляторной батареи, ч.

Время разряда АКБ принимается равным 1 часу.

$$Q_{AB} = 33,3 \cdot 1 = 33,3.$$

DELTA[®]
BATTERY

GX¹²⁻⁴⁰
12V 40Ah

Charge Voltage
Standby use: 13.2V-13.6V
Cycle use: 13.9-14.1V
Max. float current: 8A
Design life: 12 years

Gel VRLA Battery

100% recycled lead 1.75V/1.8V

CHINA: 0035 0035 0035

Особенности DELTA GX 12-40:

- Продолжительный срок службы;
- Устойчивость к глубоким разрядам;
- Температурная стабильность характеристик;
- Исключены утечки кислоты, гарантируется безопасная эксплуатация с другим оборудованием;
- Отсутствует газовыделение, достаточно естественной вентиляции;
- Нет необходимости в контроле уровня и доливе воды;
- Корпус выполнен из негорючего пластика ABS.

Компонент	Полож. пластина	Отриц. пластина	Корпус	Крышка	Клапан
Материал	Диоксид свинца	Свинец	ABS		Каучук

Компонент	Клапан	Клеммы	Сепаратор	Электролит
-----------	--------	--------	-----------	------------

Материал	Каучук	Медь	Стекловолокно	Серная кислота
----------	--------	------	---------------	----------------

Таблица 6 - Технические характеристики DELTA GX 12-40

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	12
Число элементов, шт	6
Срок службы, лет	15
Номинальная емкость (25 °С), А·ч	
20 часовой разряд (2 А; 1,75 В/эл)	40
10 часовой разряд (4 А; 1,75 В/эл)	37
5 часовой разряд (7 А; 1,75 В/эл)	34
Саморазряд (20 °С), % емкости в месяц	3
Внутреннее сопротивление полностью заряженной батареи (25 °С), мОм	9,5
Максимальный разрядный ток (25 °С), А	400
Максимальный зарядный ток, А	8
Рабочий диапазон температур, °С	
Разряд	-20÷60
Заряд	-10÷60
Хранение	-20÷60
Габариты (ДхШхВ) (±2 мм), мм	197х165х170
Вес (±3 %), кг	14,7

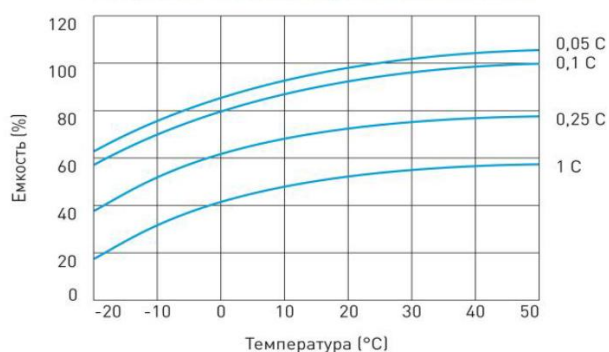


Рисунок 7 – График влияния температуры на емкость

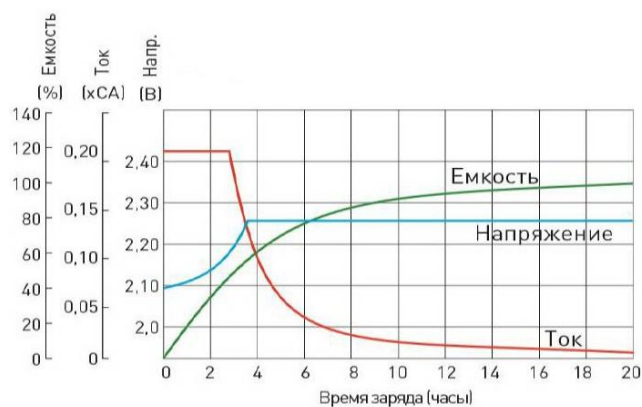


Рисунок 8 – График заряда постоянным напряжением

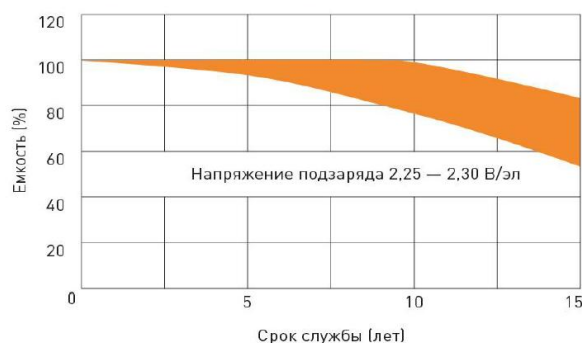


Рисунок 9 – График срока службы в буферном режиме

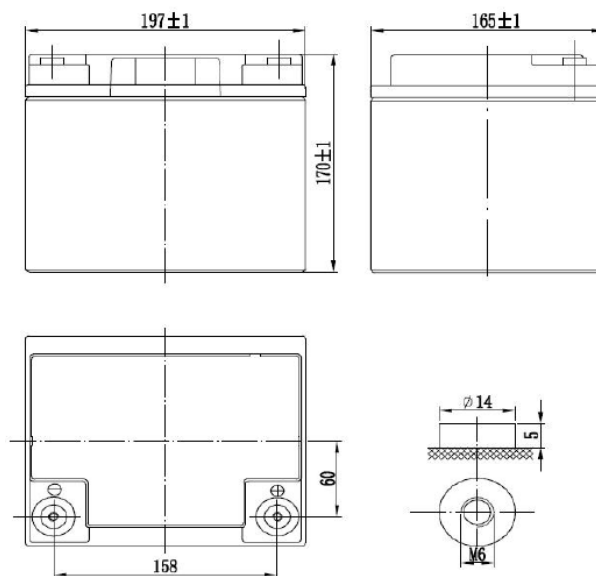


Рисунок 10 – Габариты аккумуляторной батареи DELTA GX 12-40

3.3 Выбор контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи

Система электроснабжения, содержащая в своем составе АКБ, должна иметь средства контроля заряда и разряда АКБ. Поэтому в систему автоном-

ного электроснабжения вводятся устройства, которые отключают нагрузку от АКБ если они недопустимо разряжены, а также отключают источник энергии (ФЭМ) если аккумуляторы заряжены.

Напряжения отключения нагрузки для свинцово-кислотных батарей обычно лежат в пределах от 10,5 до 11,5 В. Напряжение отключения источника энергии обычно равно 14 - 14,3 В.

Существует три основных типа контроллеров для ФЭМ [8]:

- ON/OFF контроллер – самый простой из существующих. Редко применяется в современных системах, т.к. имеет массу недостатков. Суть его работы заключается в том, что он просто отключает поступление электричества с ФЭМ при достижении максимального заряда АКБ. Напряжение и сила тока при этом будет изменяться в зависимости от интенсивности работы самих ФЭМ. Максимальный ток достигается при 70% уровня заряда АКБ, контроллер срабатывает. АКБ быстро приходит в негодность. Двумя ощутимыми достоинствами такого устройства является его стоимость и простота конструкции.
- ШИМ или PWM – контроллеры обеспечивают ступенчатую зарядку АКБ путем переключения между различными режимами заряда. Эти режимы, в свою очередь, выбираются автоматически в зависимости от степени разряженности АКБ. АКБ заряжается до 100% за счет повышения напряжения и понижения силы тока.
- MPPT контроллер. Наиболее экономичный и современный способ организовать зарядку АКБ от ФЭМ. Этот вид контроллеров работает по вычислительной технологии. В каждый момент времени он сравнивает напряжение, подаваемое с ФЭМ с напряжением на АКБ и выбирает оптимальные преобразования, чтобы получить максимальный заряд АКБ. КПД контроллера на уровне 97%.

Выбран контроллер EPSolar Tracer 2210A от компании «Epever» (Китай).



Рисунок 11 – Внешний вид контроллера EPSolar Tracer 2210A

Контроллер работает по технологии MPPT, при использовании алгоритма которого, при любой погоде, контроллер будет точно отслеживать точку максимальной мощности (MPP) в фотоэлектрическом массиве, чтобы получить максимальное количество солнечной энергии. Процесс отслеживания является полностью автоматическим и не требует регулировки пользователем. Данная технология заметно улучшит эффективность использования солнечной системы электроснабжения.

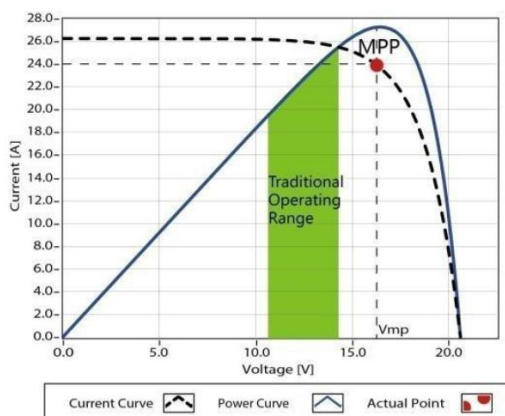


Рисунок 12 - Кривая точка максимальной мощности на графике мощности и тока

Контроллер имеет интерфейс протокола связи Modbus, с которым можно удобно контролировать параметры системы через интернет и использовать контроллер в различных областях, таких как системы домашних хозяйств, системы уличного освещения, системы мониторинга дикой природы и т.д.

Контроллер имеет функции электронной защиты, самотестирования. Расширенная функция электронной защиты поможет избежать поврежде-

ний, которые могут появиться в результате ошибок при установке или системных сбоев.

Особенности контроллера EPSolar Tracer 2210A [9]:

- Эффективность технологии MPPT составляет 99,5%.
- Качественные компоненты контроллера позволяют добиться преобразования солнечной энергии в электрическую на 98%.
- Быстрая скорость слежения за точкой максимальной мощности.
- Отслеживание нескольких точек питания и выбор максимальной.
- Автоматическое ограничение максимальной мощности от солнечных модулей позволит избежать возможной поломки.
- Широкий диапазон рабочего напряжения MPP.
- 12/24В автоматический выбор напряжения АКБ.
- Отображение параметров системы на ЖК-дисплее.
- Несколько режимов управления нагрузкой: ручное управление, свет ON / OFF, таймер.
- Выбор типа АКБ: Sealed, Gel, Flooded.
- Функция температурной компенсации.
- Порт RS-485 и протокол Modbus для удаленного подключения к контроллеру.
- Обновляемое ПО.

Параметры контроллера EPSolar Tracer 2210A сведены в таблицу 7.

Таблица 7 –Параметры контроллера EPSolar Tracer 2210A

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	12/24 (автовыбор)
Ток заряда, А	20
Ток разряда, А	20
Напряжение на аккумуляторной батарее, В	9÷32
Максимальное напряжение солнечных модулей, В	100
Диапазон напряжения MPP, В	2÷90
Максимальная мощность массива солнечных модулей, Вт	260 (12 В) / 520 (24 В)
Собственное потребление, мА	<20 (12 В) / <16 (24 В)
Температурная компенсация, мВ/°C/2В	-3
Порты	RS485
Рабочая температура, °C	-25 ÷ +45
Степень защиты	IP30
Размер (ВхШхГ), мм	172x139x44
Вес, кг	1,1

Кривые преобразования при инсоляции 1000 Вт/м² и температуре 25°C изображены на рисунке 13.

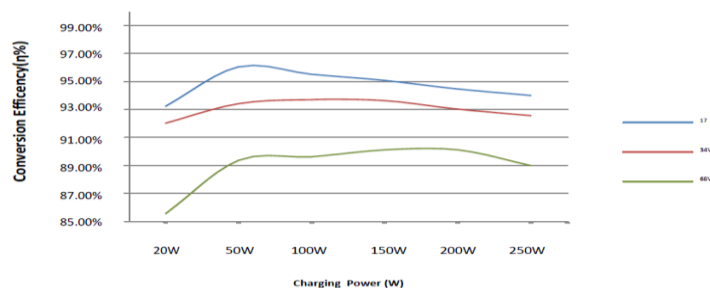


Рисунок 13 – Кривые эффективности преобразования

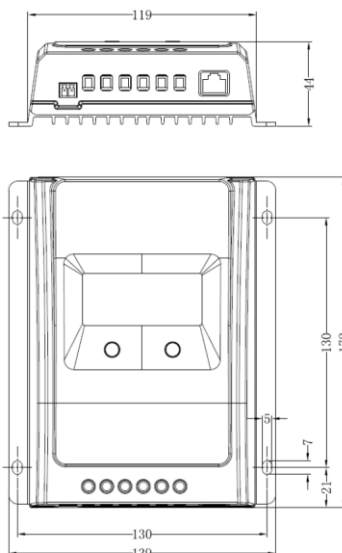


Рисунок 14 – Габариты контроллера EPSolar Tracer 2210A

3.4 Выбор инвертора

Инвертор – это устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения.

По форме выходного сигнала инверторы делятся на:

- Инверторы с прямоугольной формой выходного напряжения;
- Инверторы напряжения со ступенчатой формой кривой выходного напряжения (модифицированный синус);
- Инверторы с синусоидальной формой выходного напряжения (чистый синус).

Инверторы с синусоидальной формой выходного напряжения способны работать со всеми потребителями, в отличие от инверторов с прямоугольными и ступенчатыми сигналами, которые не могут выступать в роли источников питания для потребителей, содержащих трансформаторы и электродвигатели. Также инверторы с синусоидальным сигналом на выходе имеют больший КПД, следовательно, являются более востребованными на рынке инверторов. Из недостатков инверторов с «чистым синусом» стоит выделить их высокую стоимость.

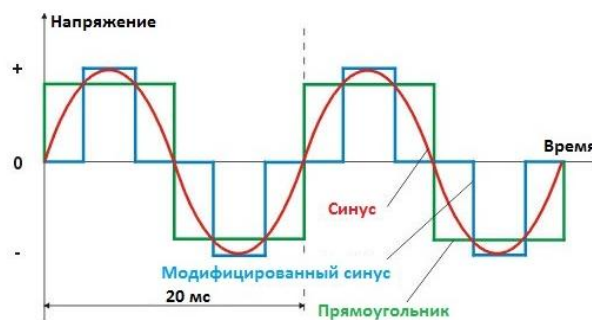


Рисунок 15 - Формы сигналов на выходе инверторов

На рисунке 15 модифицированная синусоида представлена в простейшем одноступенчатом варианте. На самом деле производители инверторов стараются увеличить количество «ступенек», тем самым приближаются по форме к чистому синусоидальному сигналу, а это благоприятно сказывается на работе потребителей и расширяет диапазон допустимых к подключению устройств.

В проектируемой системе электроснабжения имеются потребители переменного напряжения 220 В, а значит необходим инвертор 12 В – 220 В.

Выбор инвертора проводится по двум параметрам: номинальной мощности и пиковой мощности, которую инвертор может выдержать в течение нескольких секунд.

Рассчитаем мощность потребителей, бесперебойная работа которых необходима на время отключения от электрической сети.

Таблица 8 – Электрическая мощность потребителей загородного дома

Потребитель	Мощность, Вт	Количество, шт
Охранный комплекс GSM в комплекте с датчиками и сиреной	1,9	1
Лампа энергосберегающая светодиодная	12	4
Холодильник класса энергоэффективности A+++	190	1
Персональный компьютер и монитор	300	1
Итого:	539,9 Вт	

Стоит отметить, что это лишь небольшая часть всех потребителей, бесперебойную работу которых сможет обеспечить система ФЭМ и АКБ, а значит целесообразно выбрать инвертор с заведомо большей мощностью, чем суммарная мощность в таблице 8, на случай увеличения числа ФЭМ и емкости АКБ.

Выбран инвертор СТРАЖ-3000 от компании «А-электроника» (Россия).

СТРАЖ-3000 имеет встроенные защиты: от короткого замыкания (КЗ); от перегрузки; тепловую защиту; защиту АКБ от полного разряда; автомат выключения сети 220В; плавкие элементы на входе 12В. Для охлаждения применены вентиляторы с автоматической регулировкой скорости [10].

Режим работы от сети 220В:	
Максимальный ток в режиме трансляции сети, А, RMS	20
Допустимый диапазон напряжения сети в режиме трансляции, В	$(100 \div 210) / (230 \div 270)$
Допустимый диапазон частоты сети в режиме трансляции при отключенном контроле синусоидальности, Гц	$(45 \div 49) / (51 \div 56)$
Время переключения АКБ - сеть 220В, не более, мс	0,5
Время переключения сеть 220В – АКБ, не более, мс	5
Зарядное устройство трехстадийное:	
- ток заряда АКБ в режиме ограничения тока, А*	2÷16
- напряжение заряда в режиме ограничения напряжения, В*	12÷16
- напряжение заряда в режиме поддержки, В*	12÷16

- порог тока заряда для переключения в режим поддержки, А*	1÷6
Режим приоритетного использования энергии запасённой в АКБ:	
- напряжение переключения на сеть при разряде АКБ, В	10÷12,5
- напряжение переключения на АКБ при заряде, В	13÷16
Режим работы от аккумулятора:	
-рабочий диапазон входного напряжения 12В, В	9,5÷16
-напряжение отключения, В	9÷14
-напряжение повторного автоматического включения, В	9÷14
-напряжение предупреждения о разряде аккумулятора, В	9÷12,5
-типовой ток холостого хода при 12В, А	0,23
- выходное напряжение 220В, +5%, RMS*	200÷240
- выходная мощность полная, ВА	3000
- выходная мощность активная, Вт, при Uвх=13,5В	1600
- пусковая мощность длительная, Вт	4500

- частота выходного напряжения, Гц	50 ($\pm 1\%$)
- форма выходного напряжения синусоида, коэффициент искажений, не более	3%
- коэффициент мощности нагрузки допустимый, PF	0...1
- коэффициент полезного действия, %	92
Диапазон рабочих температур, град. С	-40 ÷ +40
Плавкий элемент в цепи аккумулятора, А	200
Сечение проводов по входу 12В, мм.кв.	25
Допустимая мощность в выходной розетке 220В, не более, Вт	2500
Габаритные размеры, мм	100x160x260
Масса, кг, не более	2,9

Активная мощность инвертора СТРАЖ-3000 при работе от АКБ составляет 1600 Вт, что значительно больше суммарной номинальной мощности потребителей 539,9 Вт, следовательно, инвертор подобран правильно. В проверке пиковой мощности нет необходимости, так как инвертор выбран с трехкратным запасом по номинальной мощности.

3.5 Электрическая схема установки

На данном этапе спроектируем электрическую схему лабораторного стенда. В лабораторном стенде задействовано оборудование, выбранное в пунктах 2 и 3 для интеллектуальной системы электроснабжения загородного дома. Отличительной особенностью схемы лабораторного стенда является большое количество коммутационной и измерительной аппаратуры, необходимой для изучения режимов работы ФЭМ в самых различных вариациях включения в систему, а также наличие установки имитации инсоляции – изолирующих коробов с прожекторами для создания искусственного регулируемого светового потока для более точного и детального изучения характеристик ФЭМ. Использование же оборудования, которое рассчитано на работу в интеллектуальной системе электроснабжения дома, делает возможным изучение характеристик этой системы в реальных масштабах, что значительно лучше работы с уменьшенной или упрощенной моделью. В роли электрической нагрузки оборудования лабораторного стенда выступают осветительные приборы, выполненные по различным технологиям, и электродвигатель. Также имеются розетки и клеммы для подключения бытовых приборов, а это расширяет рамки возможных к проведению экспериментов и делает стенд более универсальным.

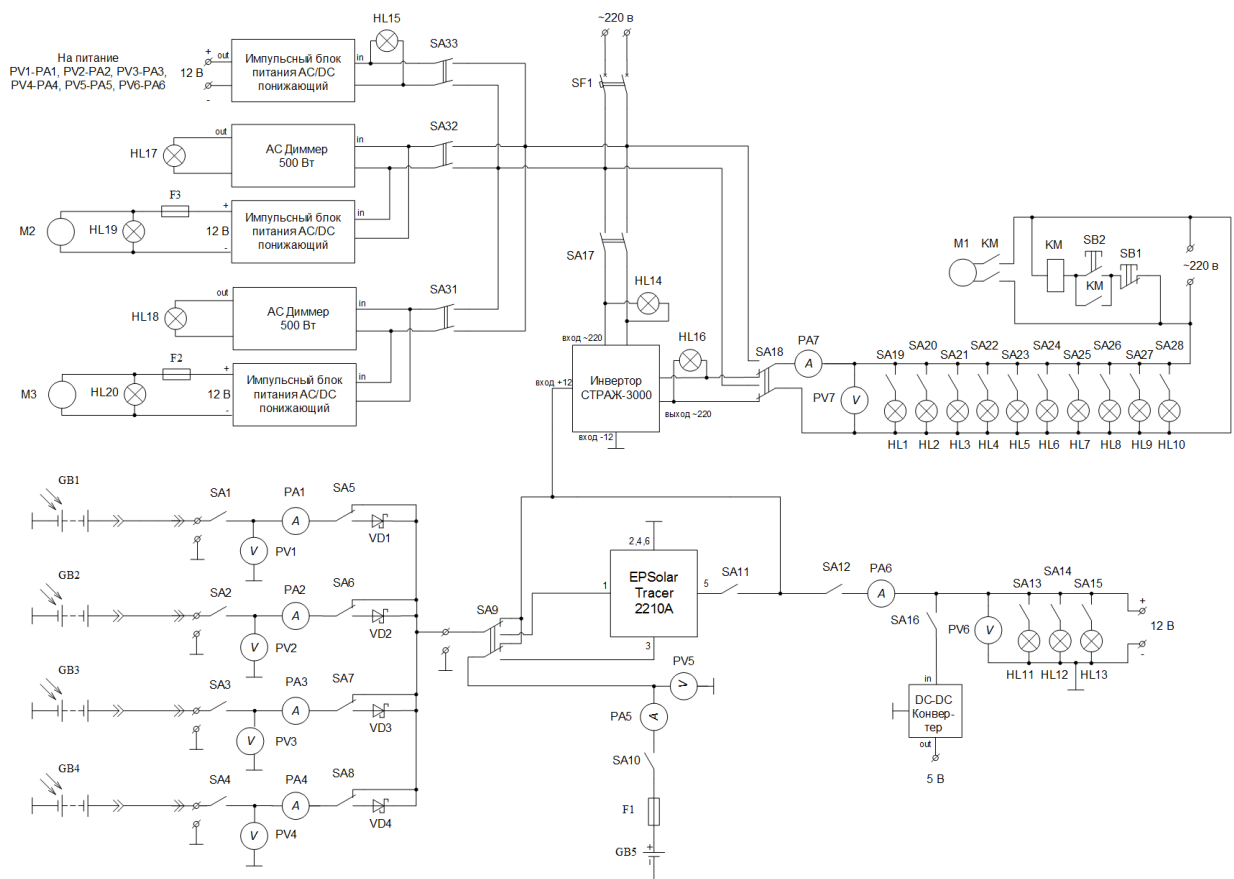


Рисунок 17 – Электрическая схема лабораторного стенда

3.6 Расчет токов короткого замыкания

Произведем расчет токов коротких замыканий (КЗ) для точек К-1, К-2, К-3, К-4. Точки КЗ обозначены на электрической схеме на рисунке 18.

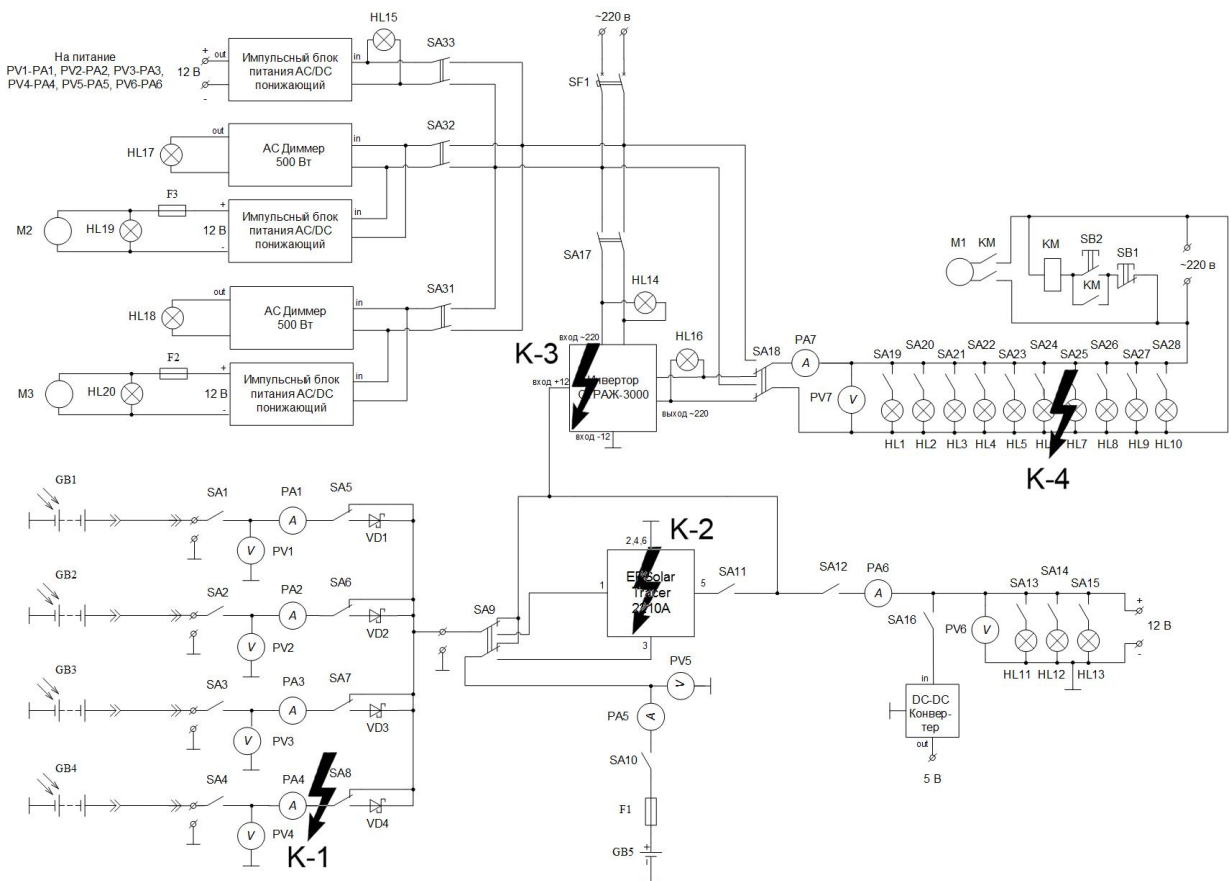


Рисунок 18 – Точки коротких замыканий для расчетов

Произведем расчет параметров схемы замещения в именованных единицах, с использованием приближенного приведение по методике определения токов КЗ в установках постоянного тока [11, 12]. Электрическое сопротивление дуги и тепловой спад тока КЗ в расчетах не учитывается.

ЭДС ФЭМ и АКБ, В:

$$E_{GB1} = E_{GB2} = E_{GB3} = E_{GB4} = E_{ном}^{CM} = 12; E_{GB5} = E_{ном}^{AB} = 12.$$

Сопротивление ФЭМ, мОм:

$$R_{CM} = \frac{E_{ном}^{CM}}{I_{КЗ}^{CM}}; \quad (5)$$

$$R_{GB2} = R_{GB4} = R_{CM}^{монокр.} = \frac{12}{6,040} \cdot 1000 = 1986,6;$$

$$R_{GB1} = R_{GB3} = R_{CM}^{полукр.} = \frac{12}{5,062} \cdot 1000 = 2370,6.$$

Сопротивление АКБ, мОм:

$$R_{GB5} = R_{AKB} = 9,5.$$

Сопротивление тумблерных переключателей [13, 14], мОм:

$$R_{SA1} = R_{SA2} = R_{SA3} = R_{SA4} = R_{SA5} = R_{SA6} = R_{SA7} = R_{SA8} = R_{SA33} = 50;$$

$$R_{SA11} = R_{SA12} = 1,1.$$

Сопротивление клавишных выключателей [15, 16], мОм:

$$R_{SA13} = R_{SA14} = R_{SA15} = R_{SA16} = 35;$$

$$R_{SA19} = R_{SA20} = R_{SA21} = R_{SA22} = R_{SA23} = R_{SA24} = R_{SA25} = R_{SA26} = R_{SA27} = R_{SA28} = 35.$$

Сопротивление поворотных переключателей [17], мОм:

$$R_{SA9} = R_{SA10} = R_{SA17} = R_{SA18} = R_{SA31} = R_{SA32} = 50.$$

Сопротивления шунтов измерительных приборов [18], мОм

$$R_{PA1} = R_{PA2} = R_{PA3} = R_{PA4} = R_{PA5} = R_{PA6} = R_{PA7} = 1,5.$$

Сопротивление автоматического выключателя [19], мОм;

$$R_{SF1} = 13$$

Сопротивление предохранителей с держателями, мОм

$$R_F = R_{предохр.} + R_{держат.}, \quad (6)$$

где $R_{предохр.}$ - электрическое сопротивление предохранителя [19], мОм;

$R_{держат.}$ - электрическое сопротивление контактов держателя предохранителя [20], мОм;

$$R_{F1} = 2,28 + 10 = 12,28 \approx 12,3;$$

$$R_{F2} = R_{F3} = 33,3 + 10 = 43,3.$$

Активные сопротивления соединительных кабелей, мОм

$$R_W = r_w \cdot l, \quad (7)$$

где r_w - активное сопротивление 1 м соединительного кабеля [21], мОм;

l - длина соединительного кабеля, м.

$$R_{w1} = R_{w2} = R_{w3} = R_{w4} = 7,41 \cdot 5 = 37,05 \approx 37,1;$$

$$R_{w5} = 7,41 \cdot 3 = 22,23 \approx 22,2.$$

Реактивные сопротивления соединительных кабелей, мОм

$$X_w = x_w \cdot l, \quad (8)$$

где x_w - реактивное сопротивление 1 м соединительного кабеля [19], мОм;
 l - длина соединительного кабеля, м.

$$X_{w1} = X_{w2} = X_{w3} = X_{w4} = 0,107 \cdot 5 = 0,535;$$

$$X_{w5} = 0,107 \cdot 3 = 0,321.$$

В электроустановках до 1 кВ допустимо пренебрегать сопротивлениями одного вида (активными или индуктивными), если при этом полное сопротивление цепи уменьшается не более чем на 10 % [22].

Полное сопротивление 1 м соединительного кабеля, мОм

$$z_w = \sqrt{(r_w^2 + x_w^2)}. \quad (9)$$

$$z_{w1} = \sqrt{(7,41^2 + 0,107^2)} \approx 7,4108;$$

$$z_{w2} = \sqrt{(7,41^2 + 0^2)} \approx 7,41;$$

где z_{w1} - полное сопротивление 1 м соединительного кабеля, мОм;
 z_{w2} - полное сопротивление 1 м соединительного кабеля рассчитанное без учета индуктивного сопротивления, мОм.

Погрешность от пренебрежения в расчетах индуктивному сопротивлению, %

$$\varepsilon = \frac{z_{w1} - z_{w2}}{z_{w1}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{7,4108 - 7,41}{7,4108} \cdot 100\% \approx 0,011.$$

При исключении из расчетов индуктивного сопротивления полное сопротивление уменьшилось на 0,011 %, что значительно меньше допустимых 10 %. На основании вышесказанного для дальнейших расчетов

используются только активные сопротивления, индуктивные сопротивлениям не учитываются.

3.6.1 Короткое замыкание в точке К-1

Составим схему замещения для участка цепи при КЗ в точке К-1.

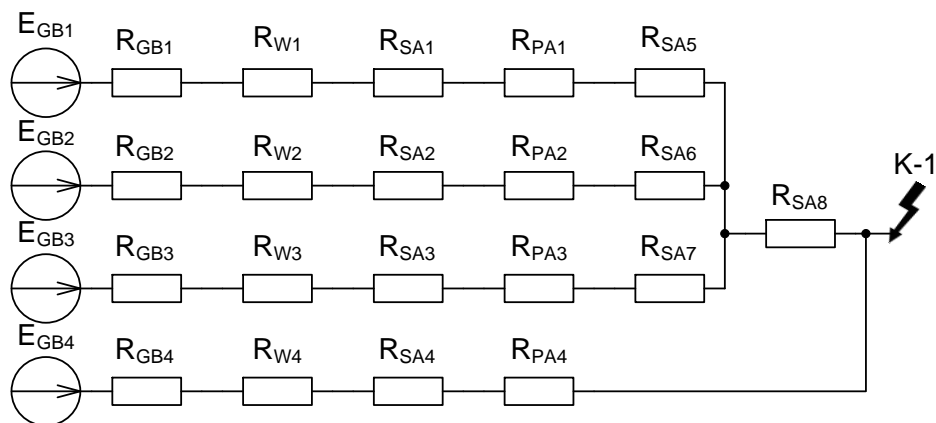


Рисунок 19 – Схема замещения при КЗ в К-1

Преобразуем схему замещения для участка цепи при КЗ в точке К-1 для упрощения расчетов.

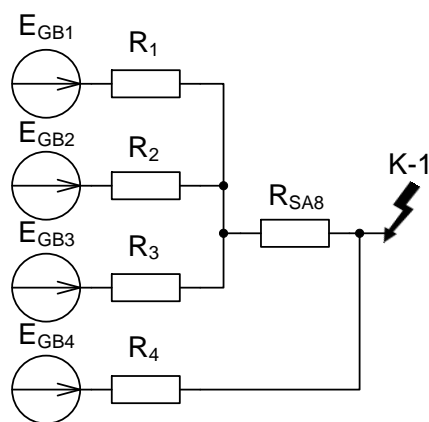


Рисунок 20 – Промежуточная схема замещения при КЗ в К-1 (1 этап)

Рассчитаем эквивалентные сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , мОм

$$R_1 = R_{GB1} + 2 \cdot R_{W1} + R_{SA1} + R_{PA1} + R_{SA5}; \quad (11)$$

$$R_1 = 2370,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2546,3;$$

$$R_2 = R_{GB2} + 2 \cdot R_{W2} + R_{SA2} + R_{PA2} + R_{SA6}; \quad (12)$$

$$R_2 = 1986,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2162,3;$$

$$R_3 = R_{GB3} + 2 \cdot R_{W3} + R_{SA3} + R_{PA3} + R_{SA7} ; \quad (13)$$

$$R_3 = 2370,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2546,3 ;$$

$$R_4 = R_{GB4} + 2 \cdot R_{W4} + R_{SA4} + R_{PA4} ; \quad (14)$$

$$R_4 = 1986,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 = 2112,3 .$$

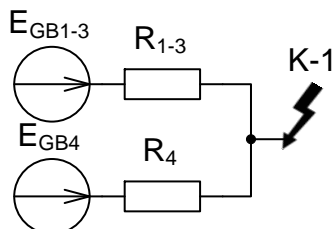


Рисунок 21 - Промежуточная схема замещения при КЗ в К-1 (2 этап)

Определим эквивалентную ЭДС E_{GB1-3} , В

$$E_{GB1-3} = E_{GB1} = E_{GB2} = E_{GB3} ; \quad (15)$$

$$E_{GB1-3} = 12 .$$

Рассчитаем эквивалентное сопротивление R_{1-3} , мОм

$$R_{1-3} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)} + R_{SA8} ;$$

$$R_{1-3} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2546,3} + \frac{1}{2112,3} + \frac{1}{2546,3} \right)} + 50 \approx 851,3 .$$

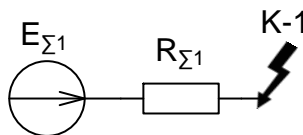


Рисунок 22 - Преобразованная схема замещения при КЗ в К-1

Определим эквивалентную ЭДС E_{Σ} , В

$$E_{\Sigma1} = E_{GB1-3} = E_{GB4} ; \quad (16)$$

$$E_{\Sigma1} = 12 .$$

Рассчитаем эквивалентное сопротивление R_{Σ} , мОм

$$R_{\Sigma 1} = \frac{R_{1-3} \cdot R_4}{R_{1-3} + R_4}; \quad (17)$$

$$R_{\Sigma 1} = \frac{851,3 \cdot 2112,3}{851,3 + 2112,3} \approx 606,8.$$

Ток в начальный момент металлического КЗ, А

$$I_{K-1} = \frac{E_{\Sigma 1}}{R_{\Sigma 1}}; \quad (18)$$

$$I_{K-1} = \frac{12}{606,8} \cdot 1000 \approx 19,8.$$

3.6.2 Короткое замыкание в точке К-2

Составим схему замещения для участка цепи при КЗ в точке К-2.

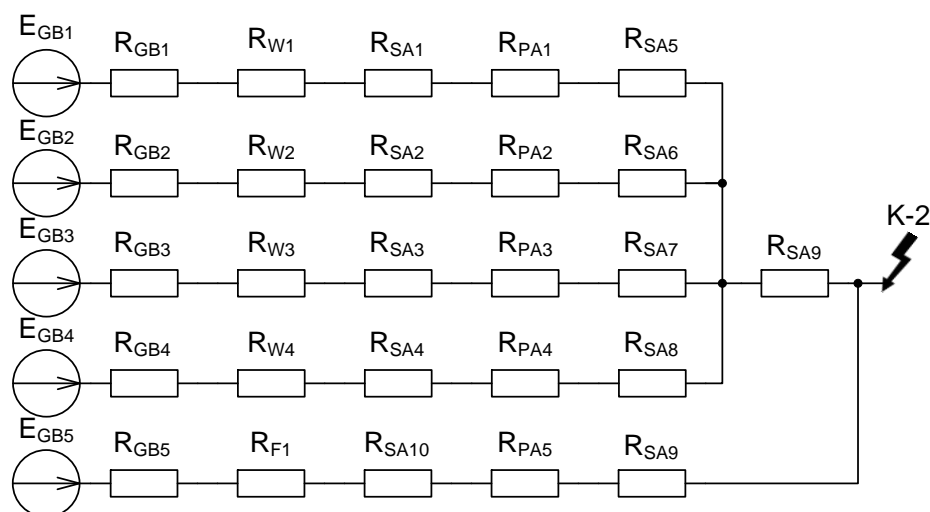


Рисунок 23 – Схема замещения при КЗ в К-2

Преобразуем схему замещения для участка цепи при КЗ в точке К-2 для упрощения расчетов.

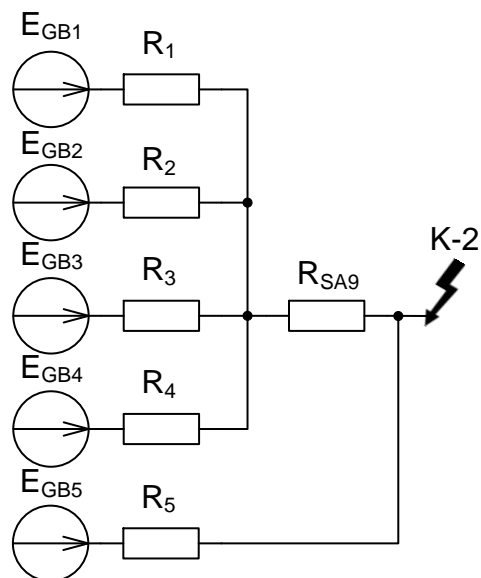


Рисунок 24 – Промежуточная схема замещения при КЗ в К-2 (1 этап)

Эквивалентное сопротивление R_1 по формуле (11), мОм

$$R_1 = 2370,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2546,3.$$

Эквивалентное сопротивление R_2 по формуле (12), мОм

$$R_2 = 1986,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2162,3.$$

Эквивалентное сопротивление R_3 по формуле (13), мОм

$$R_3 = 2370,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2546,3.$$

Эквивалентное сопротивление R_4 , мОм

$$R_4 = R_{GB4} + 2 \cdot R_{W4} + R_{SA4} + R_{PA4} + R_{SA8}; \quad (19)$$

$$R_4 = 1986,6 + 2 \cdot 37,1 + 50 + 1,5 + 50 = 2162,3.$$

Эквивалентное сопротивления R_5 , мОм

$$R_5 = R_{GB5} + R_{F1} + R_{SA10} + R_{PA5} + R_{SA9}; \quad (20)$$

$$R_5 = 9,5 + 12,3 + 50 + 1,5 + 50 = 123,3.$$

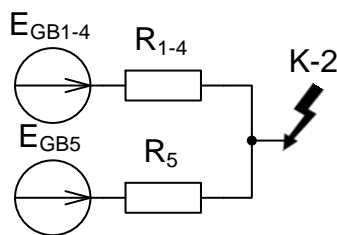


Рисунок 25 – Промежуточная схема замещения при КЗ в К-2 (2 этап)

Определение эквивалентной ЭДС E_{GB1-4} , В

$$E_{GB1-4} = E_{GB1} = E_{GB2} = E_{GB3} = E_{GB4} ; \quad (21)$$

$$E_{GB1-4} = 12 .$$

Расчет эквивалентного сопротивление R_{1-4} , мОм

$$R_{1-4} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)} + R_{SA9} ;$$

$$R_{1-4} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2546,3} + \frac{1}{2162,3} + \frac{1}{2546,3} + \frac{1}{2162,3} \right)} + 50 \approx 634,7 .$$

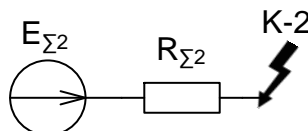


Рисунок 26 – Преобразованная схема замещения при КЗ в К-2

Определим эквивалентную ЭДС E_{Σ} , В

$$E_{\Sigma2} = E_{GB1-4} = E_{GB5} ; \quad (22)$$

$$E_{\Sigma2} = 12 .$$

Рассчитаем эквивалентное сопротивление R_{Σ} , мОм

$$R_{\Sigma2} = \frac{R_{1-4} \cdot R_5}{R_{1-4} + R_5} ; \quad (23)$$

$$R_{\Sigma2} = \frac{634,7 \cdot 123,3}{634,7 + 123,3} \approx 103,2 .$$

Ток в начальный момент металлического КЗ в точке К-2, А

$$I_{K-2} = \frac{E_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 2}}; \quad (24)$$

$$I_{K-2} = \frac{12}{103,2} \cdot 1000 \approx 116,3.$$

Рассчитаем ток, протекающий через аккумулятор при металлическом коротком замыкании в точке К-2, А

$$I_{K-2}^{AB} = \frac{E_{GB5}}{R_5}; \quad (25)$$

$$I_{K-2}^{AB} = \frac{12}{123,3} \cdot 1000 \approx 97,3.$$

3.6.3 Короткое замыкание в точке К-3

При КЗ в инверторе (точка К-3) условно разделим схему на две части: участок цепи переменного тока и участок цепи постоянного тока. Составим схему замещения для участка цепи постоянного тока при КЗ в точке К-3. При выборе расчетной схемы для определения токов КЗ следует исходить из предусматриваемых для данной электроустановки условий длительной ее работы [22]. Рассмотрим режим КЗ при работе ФЭМ и АКБ через контроллер.

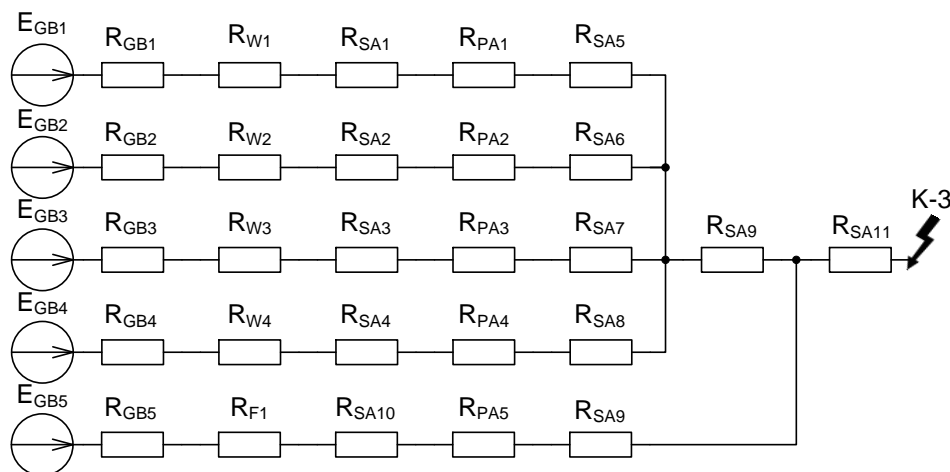


Рисунок 27 – Схема замещения участка цепи постоянного тока при КЗ в К-3

Преобразуем схему замещения для участка цепи постоянного тока при КЗ в точке К-3. При преобразовании схемы замещения целесообразно использовать расчеты предыдущего пункта, так как преобразованная схема замещения при КЗ в К-3 отличается от преобразованной схемы замещения при КЗ в К-2 только наличием сопротивления \$R_{SA11}\$.

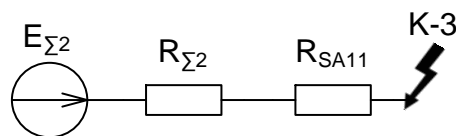


Рисунок 28 – Преобразованная схема замещения участка цепи постоянного тока при КЗ в К-3

Ток в начальный момент металлического КЗ в точке К-3 со стороны постоянного тока, А

$$I_{K-3}^{пост.} = \frac{E_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 2} + R_{SA11}}; \quad (26)$$

$$I_{K-3}^{пост.} = \frac{12}{103,2 + 1,1} \cdot 1000 \approx 115,1.$$

Составим схему замещения для участка цепи переменного тока при КЗ в точке К-3. Наиболее тяжелый режим будет при параллельной работе инвертора с сетью 220 В. Сопротивлению параллельно включенной индикаторной лампы HL14 пренебрегаем.

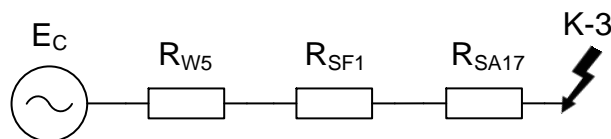


Рисунок 29 – Схема замещения участка цепи переменного тока при КЗ в К-3

Преобразуем схему замещения для участка цепи переменного тока при КЗ в точке К-3.

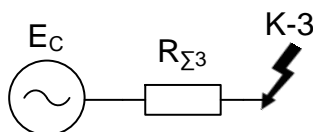


Рисунок 30 – Преобразованная схема замещения участка цепи переменного тока при КЗ в К-3

Рассчитаем эквивалентное сопротивление $R_{\Sigma 3}$, мОм

$$R_{\Sigma 3} = 2 \cdot R_{W5} + 2 \cdot R_{SF1} + 2 \cdot R_{SA17}; \quad (27)$$

$$R_{\Sigma 3} = 2 \cdot 22,2 + 2 \cdot 13 + 2 \cdot 50 = 170,4.$$

Периодическая составляющая тока однофазного КЗ от системы, А

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{1,05 \cdot E_C}{R_{\Sigma 3}} ; \quad (28)$$

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{1,05 \cdot 220}{170,4} \cdot 1000 = 1355,6.$$

Наибольшее начальное значение апериодической составляющей тока однофазного КЗ от системы, А

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(1)} ; \quad (29)$$

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 1355,6 = 1917,1.$$

Ударный ток однофазного КЗ от системы, А

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}^{(1)} \cdot K_{y0} , \quad (30)$$

где K_{y0} - ударный коэффициент, который определяется по кривым зависимости K_{y0} от отношения R/X [23].

В расчетах не учитывается реактивное сопротивление, следовательно отношение R/X стремится к бесконечности; K_{y0} , в таком случае, стремится к единице.

$$\frac{R}{X} \rightarrow \infty \Rightarrow K_{y0} \rightarrow 1$$

Принимаем $K_{y0} = 1$.

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 1355,6 \cdot 1 = 1917,1.$$

3.6.4 Короткое замыкание в точке К-4

Составим схему замещения для участка цепи при КЗ в точке К-4.

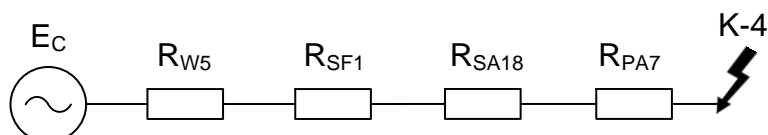


Рисунок 31 – Схема замещения участка цепи переменного тока при КЗ в К-4

Преобразуем схему замещения для участка цепи переменного тока при КЗ в точке К-4.

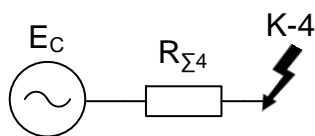


Рисунок 32 – Преобразованная схема замещения участка цепи переменного тока при КЗ в К-4

Рассчитаем эквивалентное сопротивление $R_{\Sigma 4}$, мОм

$$R_{\Sigma 4} = 2 \cdot R_{W5} + 2 \cdot R_{SF1} + 2 \cdot R_{SA18} + R_{PA7}; \quad (31)$$

$$R_{\Sigma 4} = 2 \cdot 22,2 + 2 \cdot 13 + 2 \cdot 50 + 1,5 = 171,9.$$

Периодическая составляющая тока однофазного КЗ от системы по формуле (28), А

$$I_{I0}^{(1)} = \frac{1,05 \cdot 220}{171,9} \cdot 1000 = 1343,8.$$

Наибольшее начальное значение апериодической составляющей тока однофазного КЗ от системы по формуле (29), А

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 1343,8 = 1900,4.$$

Ударный ток однофазного КЗ от системы по формуле (30), А

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 1900,4 \cdot 1 = 1900,4.$$

Расчетные значения токов КЗ сведены в таблицу 10

Таблица 10 – Расчетные значения токов КЗ

Точка КЗ	Ток КЗ, А		
	постоянный	переменный	
		$I_{I0}^{(1)}$	i_{y0}
К-1	19,8	-	-
К-2	116,3	-	-
К-2 (только от АКБ)	97,3	-	-
К-3	115,1	1355,6	1917,1
К-4	-	1343,8	1900,4

3.7 Расчет максимальных рабочих токов

Для выбора электрических аппаратов необходимо знать максимальные рабочие токи, проходящие через них. При определении этих токов будем пренебрегать сопротивлениям контактных соединений и токоведущих частей, не учитывать токи, потребляемые индикаторными лампами. Расчеты максимальных рабочих токов сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Максимальные рабочие токи электрических аппаратов

Обозначение электрического аппарата на схеме	Максимальный рабочий ток электрического аппарата, А
SA1, SA3, SA5, SA7, PA1, PA3	$I_{\text{раб.мах}}^{CM(\text{поликр.})} = I_{K3}^{CM(\text{поликр.})} = 5,062$
SA2, SA4, SA6, SA8 PA2, PA4	$I_{\text{раб.мах}}^{CM(\text{монокр.})} = I_{K3}^{CM(\text{монокр.})} = 6,040$
SA9	$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{ном.}}^{IyIB2,5} = 30$
SA10, F1, PA5	$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{ном.}}^{PA5} = 50$
SA11	$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{ном.}}^{\text{контр.}} = 20$
SA12, PA6	$I_{\text{раб.мах}} = 4 \cdot \frac{P_{\text{ном.}}^{\text{нагр.наиб.}}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} = 4 \cdot \frac{P_{\text{ном.}}^{MR16}}{U_{\text{ном.}}^{MR16}} = 4 \cdot \frac{20}{12} \approx 6,67$
SA13, SA14, SA15, SA16	$I_{\text{раб.мах}} = \frac{P_{\text{ном.}}^{\text{нагр.наиб.}}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} = \frac{P_{\text{ном.}}^{MR16}}{U_{\text{ном.}}^{MR16}} = \frac{20}{12} \approx 1,67$
SA17, SF1	$I_{\text{раб.мах}} = \frac{P_{\text{ном.}}^{\text{инверт.}}}{U_{\text{ном.}}^{\text{инверт.}}} = \frac{2500}{220} \approx 11,36$
SA18	$I_{\text{раб.мах}} = 11 \cdot \frac{P_{\text{ном.}}^{\text{нагр.наиб.}}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} = 11 \cdot \frac{P_{\text{ном.}}^{PhilipsA55.}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} = 11 \cdot \frac{75}{220} \approx 3,75$
SA19, SA20, SA21, SA22, SA23, SA24, SA25, SA26, SA27, SA28	$I_{\text{раб.мах}} = \frac{P_{\text{ном.}}^{\text{нагр.наиб.}}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} = \frac{P_{\text{ном.}}^{PhilipsA55.}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} = \frac{75}{220} \approx 0,34$
SA31, SA32	$I_{\text{раб.мах}} = \frac{P_{\text{ном.}}^{\text{проект.}}}{U_{\text{ном.}}^{\text{нагр.}}} + I_{\text{ном.}}^{\text{вент.}} = \frac{500}{220} + 3 \cdot 0,13 \cdot \frac{12}{220} \approx 2,29$
F2, F3	$I_{\text{раб.мах}} = 3 \cdot I_{\text{ном.}}^{\text{вент.}} + I_{\text{ном.}}^{\text{инд.}} = 3 \cdot 0,13 + 0,02 = 0,41$
SA33	$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{ном.}}^{БП} \cdot \frac{12}{220} = 2 \cdot \frac{12}{220} \approx 0,11$
KM	$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{ном.}}^{\text{нагр.наиб.}} = I_{\text{ном.}}^{PD-09} = 0,06$

3.8 Выбор коммутационных аппаратов

Аппараты, которые предназначены для отключения токов КЗ, должны обладать способностью производить эти операции при всех возможных токах КЗ. Стойкими при токах КЗ являются те аппараты, которые при

расчетных условиях выдерживают воздействия этих токов, не подвергаясь электрическим, механическим и иным разрушениям или деформациям, препятствующим их дальнейшей нормальной эксплуатации. [22].

Электрические аппараты, не предназначенные для отключения токов КЗ, по режиму КЗ не проверяются, так как согласно ПУЭ по режиму КЗ должны проверяться в электроустановках до 1 кВ - только распределительные щиты, токопроводы и силовые шкафы [22].

3.8.1 Выбор автоматического выключателя

Выбор автоматического выключателя производим по следующим условиям:

- Номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{ном.сети}, \quad (31)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение электрического аппарата, В;

$U_{ном.сети}$ - номинальное напряжение электрической бытовой сети, В.

- Максимальному рабочему току:

$$I_{ном} \geq I_{раб.мах}, \quad (32)$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток электрического аппарата, А;

$I_{раб.мах}$ - максимальный рабочий ток защищаемой цепи, А.

- Отключающей способности

$$I_{откл.ном} \geq I_{по}, \quad (33)$$

где $I_{откл.ном}$ - номинальный ток отключения электрического аппарата, А;

$I_{по}$ - периодическая составляющая тока короткого замыкания, А.

- Электродинамической стойкости

$$i_{дин.} \geq i_{уд}, \quad (34)$$

где $i_{дин.}$ - ток динамической стойкости электрического аппарата, А;

$i_{уд}$ - ударный ток короткого замыкания, А.

Для подключения лабораторного стенда к сети переменного тока выберем двухполюсный автоматический выключатель ВА 47-29 от компании TDM Electric (Россия). Автоматические выключатели ВА 47-29 предназначены для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку. Автоматический выключатель имеет кривую срабатывания С – разрывает цепь при токе в 5-10 раз больше номинального

(то есть автомат на 16А отключит цепь при токе 80-160А). Автоматы с кривой срабатывания С используют в современном жилом строительстве и в офисных сетях [24].



Рисунок 33 - Внешний вид автоматического выключателя ВА 47-29

Конструктивные особенности автоматического выключателя [24]:

- Отличительной особенностью автомата является ширина модуля – 17,5мм.
- Насечки на контактных зажимах предотвращают перегрев и оплавление проводов за счет более плотного и большего по площади контакта.
- Контактные группы снабжены серебряными вставками для увеличения срока службы контактов посредством увеличения износостойчивости; так же это уменьшает переходное сопротивление и потери.
- На лицевой панели автоматического выключателя ВА47-29 реализован механический индикатор положения контактов (включено/отключено).
- В аппарате применена эргономичная рукоятка управления, исключающая соскальзывание пальцев.
- Геометрия боковых поверхностей изделия разработана для улучшения теплового режима работы.

Таблица 12 - Параметры автоматического выключателя ВА47-29

Наименование параметра	Значение
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345–99
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230
Номинальный ток, А	16
Номинальная отключающая способность, А	4500
Напряжение постоянного тока, В/полюс	48
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	С
Число полюсов	2
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	6 000

Контакты	цилиндрические
Длина корпуса, мм	38
Диаметр корпуса, мм	10
Рабочая температура, °C	-60 ÷ +80

Обеспечим возможность замены предохранителя AUE50A без разбора лабораторного стенда, выберем держатель предохранителя CQ-225 от Conquer Electronics (Тайвань) для размещения на лицевой панели стенда.



Рисунок 35 – Внешний вид держателя предохранителя CQ-225

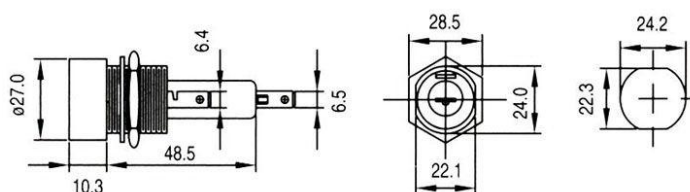


Рисунок 36 – Габаритный чертеж держателя предохранителя CQ-225

Для защиты от коротких замыканий электрической цепи вентиляции выберем предохранители H520-0,5A/250V (аналог российских предохранителей ВПБ1..13 производимый в Китае)



Рисунок 37 – Внешний вид предохранителя H520-0,5A/250V

Таблица 15 – технические параметры предохранителя H520-0,5A/250V

Параметр	Значение
Материал корпуса	стекло
Номинальное напряжение, В	250
Номинальный рабочий ток, А	0,5
Контакты	цилиндрические
Длина корпуса, мм	20
Диаметр корпуса, мм	5,2
Рабочая температура, °C	-60 ÷ +85

Обеспечим возможность замены предохранителя H520-0,5A/250V без разбора лабораторного стенда, выберем держатель предохранителя ДВП4-2 от производителя TDM Electric (Россия) и разместим его на лицевой панели стенда.



Рисунок 38 – Внешний вид держателя предохранителя ДВП4-2

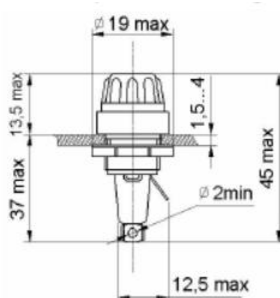


Рисунок 39 – Габаритный чертеж держателя предохранителя

Для проверки правильности выбора предохранителей по условиям (31) и (32) сравним расчетные и каталожные данные. Расчетные и каталожные данные сведены в таблицу 16.

Таблица 16 - Расчетные и каталожные данные предохранителей

Условия выбора	Расчетные данные F1	Параметры предохранителя AUE50A	Расчетные данные F2, F3	Параметры предохранителя H520-0,5A/250V
$U_{\text{сети ном}} \leq U_{\text{ном}}$	220 В	250 В	12	250
$I_{\text{раб. max}} \leq I_{\text{ном}}$	30 А	50 А	0,41	0,5

Выбранные предохранители отвечают условиям проверки.

3.8.3 Выбор выключателей нагрузки на стороне 12 В

Выбор выключателей нагрузки на стороне 12 В будем производить по условиям (31) и (32).

Для коммутации ФЭМ выберем тумблерный выключатель KN3(B)-101AAP-A1 производителя JieTong Electronics Co., Ltd. (Китай). Тумблеры серии KN3 предназначены для коммутации цепей сигнализации, питания и

управления. Тип механизма переключения тумблера – рычажный. Для обозначения положения рычага используется пластина [25].



Рисунок 40 – Внешний вид тумблерного выключателя KN3(B)-101AAP-A1

Таблица 17 – Параметры тумблерного выключателя KN3(B)-101AAR-A1

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	15
Номинальное рабочее напряжение, В	125
Номинальное напряжение изоляции, В	500
Электрическая износостойкость, не менее, циклов	10000
Посадочный диаметр, мм	12
Диапазон рабочих температур, °С	от -25 до +85
Степень защиты	IP40 – со стороны лицевой панели IP00 – со стороны контактов

Для осуществления возможности переключения режимов работы ФЭМ выберем тумблерный выключатель KN3(B)-103AAP-A3 производителя JieTong Electronics Co., Ltd. (Китай).



Рисунок 41 – Внешний вид тумблерного выключателя KN3(B)-103AAP-A3

Таблица 18 – Параметры тумблерного выключателя KN3(B)-103AAP-A3

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	15
Номинальное рабочее напряжение, В	125
Номинальное напряжение изоляции, В	500
Электрическая износостойкость, не менее, циклов	10000
Посадочный диаметр, мм	12

воды, слабых кислот, растворов щелочей, органических растворителей, смазочных и трансформаторных масел. Контактная группа выполнена из электротехнической меди с гальваническим покрытием. Главным преимуществом пакетного выключателя ПВ2-63 является простая и надежная конструкция [27].



Рисунок 43 – Внешний вид пакетного выключателя ПВ2-63

Таблица 20 – Параметры пакетного выключателя ПВ2-63

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	63
Номинальное рабочее напряжение, В	220
Циклов переключения, максимально, в час	120
Механическая износостойчивость, переключений	20000
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до +45
Степень защиты	IP56 – со стороны лицевой панели IP00 – со стороны контактов
Габариты изделия (ДхШхВ), мм	78х100х108

Для переключения режимов работы нагрузки выберем тумблерный выключатель ПП-45М производителя ЧЭАЗ (Россия). Переключатель перекидной однополюсный ПП-45М предназначен для работы в стационарных и передвижных установках и служат для коммутации электрических цепей постоянного тока при напряжении до 30 В. Монтируются на панель при помощи винтов и отверстий в верхней части корпуса тумблера [14].



Рисунок 44 – Внешний вид тумблерного выключателя ПП-45М

Таблица 21 – Параметры тумблерного выключателя ПП-45М

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	35
Номинальное рабочее напряжение, В	27
Максимально допустимое напряжение, В	30
Количество циклов включений и отключений	12500
Диапазон рабочих температур, °С	от -60 до +60
Степень защиты	IP30 – со стороны лицевой панели IP00 – со стороны контактов
Вес, кг	0,031

Для коммутации нагрузки на стороне 12 В выберем клавишные выключатели 36-2588 от компании Rexant (Китай). Выключатель имеет клавишу зеленого цвета с подсветкой, предназначен для коммутации электрических цепей напряжением 12В. Клавишные выключатели применяются в качестве комплектующих изделий различного электрооборудования. Такой клавишный переключатель имеет два положения. Принцип действия основан на перемещении клавиши в одну из позиций. Монтаж осуществляется без применения винтов на плоских панелях толщиной от 0.8мм до 3мм [15].



Рисунок 45 – Внешний вид клавишного выключателя 36-2588

Таблица 22 – Параметры клавишного выключателя 36-2588

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	20
Номинальное рабочее напряжение, В	12
Ресурс, циклов	10000
Посадочный диаметр, мм	20
Диапазон рабочих температур, °С	от -25 до +85

Правильность выбора выключателей нагрузки на стороне 12 В проверена согласно условиям (31) и (32), расчетные и паспортные данные сведены в таблицу 23.

Таблица 23 - Расчетные и паспортные данные выключателей нагрузки на стороне 12 В

Обозначение на схеме	SA1 - SA4		SA5 - SA8		SA9		SA10		SA11, SA12		SA13 - SA16	
Модель выключателя нагрузки	KN3(B)-101AAP-A1		KN3(B)-103AAP-A3		КПУ11-63/53		ПВ2-63		ПП-45М		36-2588	
<div> <div>Параметры</div> <div>Условия выбора</div> </div>	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_{\text{сети ном}} \leq U_{\text{ном}}$	12	125	12	125	12	230	12	220	12	27	12	12
$I_{\text{раб. max}} \leq I_{\text{ном}}$	6,0	15	6,0	15	30	63	30	63	20	35	1,7	20

Выбранные выключатели нагрузки отвечают всем условиям проверки.

3.8.4 Выбор выключателей нагрузки на стороне 220 В

Выбор выключателей нагрузки на стороне 220 В производим по условиям (31) и (32).

Для коммутации инвертора с электрической сетью 220 В выберем поворотный выключатель CA25-SS211N(R) от производителя Cirmaker (Тайвань). Выключатель имеет красную подсветку, реализованную с помощью встроенной неоновой лампы. Подсветка включается при замыкании контактов выключателя, что облегчает визуальный контроль его работы.



Рисунок 46 – Внешний вид поворотного выключателя CA25-SS211N(R)

Таблица 24 – Параметры поворотного выключателя CA25-SS211N(R)

Наименование параметра	Значение
Номинальное рабочее напряжение, В	250
Номинальный ток, А	6
Посадочный диаметр, мм	25
Количество положений	2

Для переключения режимов работы нагрузки: от инвертора, либо от сети; выберем кулачковый переключатель КПУ11-25/52 от компании TDM Electric (Россия). Кулачковые переключатели серии КПУ11 предназначены для управления и коммутации электрической нагрузки, использования в качестве коммутационного элемента в щитах постоянного и переменного токов. Применение на контактах композита серебро-оксид кадмия позволяет использовать переключатели для прямого управления мощными электрическими нагрузками [26].



Рисунок 47 – Внешний вид кулачкового выключателя КПУ11-25/52

Таблица 25 – Параметры кулачкового выключателя КПУ11-25/52

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток (тепловой), А	25
Номинальное рабочее напряжение, В	230/400
Номинальное напряжение изоляции, В	690
Механическая износостойкость, не менее, циклов	100000
Электрическая износостойкость, не менее, циклов	30000
Диапазон рабочих температур, °С	от -25 до +50
Степень защиты	IP40 – со стороны лицевой панели IP20 – со стороны контактов

Для коммутации нагрузки на стороне 220 В выберем клавишные выключатели RWB-214 от компании Rexant (Китай). Выключатель имеет клавишу красного цвета с подсветкой, предназначен для коммутации электрических цепей переменного тока напряжением до 250В. Клавишные выключатели применяются в качестве комплектующих изделий различного электрооборудования (в сетевых фильтрах и удлинителях, аудио-оборудовании, блоках питания, электроустановках на различных



Таблица 26 – Параметры клавишного выключателя RWB-214

Для коммутации прожекторов и их вентиляции выберем поворотные выключатели CA25-SS211N от производителя Cirmaker (Тайвань). Выключатели имеют желтую подсветку, реализованную с помощью встроенных неоновых ламп. Подсветка включается при замыкании контактов выключателя, что облегчает визуальный контроль его работы.



Таблица 27 – Параметры поворотного выключателя CA25-SS211N

Наименование параметра	Значение
Номинальное рабочее напряжение, В	250
Номинальный ток, А	6
Посадочный диаметр, мм	25
Количество положений	2

Для включения, а также выключения импульсного блока питания, осуществляющего питание измерительных приборов и подсветки, выберем тумблерный выключатель KN3(B)-201-A1 производителя JieTong Electronics Co., Ltd. (Китай).



Рисунок 50 – Внешний вид тумблерного выключателя KN3(B)-201-A1

Таблица 28 – Параметры тумблерного выключателя KN3(B)-201-A1

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток, А	6
Номинальное рабочее напряжение, В	250
Номинальное напряжение изоляции, В	500
Электрическая износостойкость, не менее, циклов	10000
Посадочный диаметр, мм	12
Диапазон рабочих температур, °C	от -25 до +85
Степень защиты	IP40 – со стороны лицевой панели IP00 – со стороны контактов

Проверим правильность выбора выключателей нагрузки на стороне 220 В согласно условиям (31) и (32), сравним расчетные и паспортные данные (сведены в таблицу 29).

Таблица 29 - Расчетные и паспортные данные выключателей нагрузки на стороне 220 В

Обозначение на схеме	SA17		SA18		SA19 – SA28		SA31, SA32		SA33	
Модель выключателя нагрузки	CA25-SS211N(R)		КПУ11-25/52		RWB-214		CA25-SS211N		KN3(B)-201-A1	
Параметры	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
Условия выбора										
$U_{\text{сети ном}} \leq U_{\text{ном}}$	220	250	220	230	220	250	220	250	220	250
$I_{\text{раб. max}} \leq I_{\text{ном}}$	11,4	6	3,4	25	0,3	6	2,3	6	0,1	6

Максимальный расчетный ток выключателя SA17 превысил паспортный номинальный ток примененного в установке выключателя нагрузки CA25-SS211N(R) в 1,9 раза. Стоит отметить, расчеты максимального тока основывались на максимальной мощности инвертора, которую он может транслировать из электрической сети. Инвертор для лабораторного стенда выбран с запасом, и использоваться на такой мощности не будет. Следовательно, если принять номинальный ток выключателя нагрузки CA25-SS211N(R) за максимально возможный, выбор выключателя можно считать правильным. Максимальная нагрузка инвертора при работе от сети не должна превышать 1300 Вт. Остальные выключатели нагрузки отвечают всем условиям проверки.

3.8.5 Выбор магнитного пускателя

Выбор магнитного пускателя произведен по условиям (31) и (32).

Для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети и остановки асинхронного электродвигателей выбран магнитный пускатель ПМЛ 1160 МБ от производителя ЭТАЛ (Украина).



Рисунок 51 – Внешний вид магнитного пускателя ПМЛ 1160 МБ

Таблица 30 – Технические характеристики магнитного пускателя ПМЛ 1160 МБ

Наименование	Значение
Номинальный ток главной цепи, А	10
Номинальное напряжение втягивающей катушки, В	220
Номинальное напряжение по изоляции, В	660
Степень защиты	IP00
Мощность, потребляемая катушкой пускателя, рабочая/пусковая, ВА	8±1.8/68±8

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 220 \geq U_{ном.сети} = 220.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (32):

$$I_{ном} = 10 \geq I_{раб. max} = 0,06$$

Условие (32) выполняется.

Выбранный магнитный пускатель отвечает заданным условиям.

Для коммутации электрической цепи втягивающей катушки магнитного пускателя понадобится кнопочный выключатель без фиксации.

Выбор кнопочного выключателя произведен по условию (31).

Выбран кнопочный выключатель АРВВ-22N от компании TDM Electric (Россия).



Рисунок 52 – Внешний вид кнопочного выключателя АРВВ-22N

Кнопочный выключатель без фиксации АРВВ-22N служит для оперативного управления магнитными пускателями (контакторами), реле автоматики и другим технологическим оборудованием в электрических цепях переменного тока напряжением до 230 В. Кроме того, АРВВ-22N оснащен светодиодным индикатором состояния электрической цепи.

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 230 \geq U_{ном.сети} = 220.$$

Условие (31) выполняется.

Выбранный кнопочного выключателя отвечает заданным условиям.

3.9 Выбор соединительных проводов

Стоит отметить, что выбору по экономической плотности тока не подлежат ответвления к отдельным электроприёмникам напряжением до 1 кВ, а также сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ. Сечение этих проводов выбирается по допустимому длительному току. Допустимые длительные токи для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, шнуров с резиновой изоляцией и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках приведены в таблице 31. Они приняты для температур: жил +65, окружающего воздуха +25 и земли +15 °С [22].

Таблица 31 – Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	Трех одножильных	Четырех одножильных	Одного двухжильного	Одного трехжильного
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85

Также необходимо осуществлять проверку по напряжению, на которое рассчитана изоляция.

Выбор соединительного провода производят по условию (31) и допустимому длительному току

$$I_{\text{прод.доп}} \geq I_{\text{прод.расч}}, \quad (35)$$

где $I_{\text{прод.доп}}$ - допустимый длительный ток провода (по таблице 31), А;

$I_{\text{прод.расч}}$ - допустимый длительный ток защищаемой цепи, А.

3.9.1 Выбор кабеля от фотоэлектрических модулей до лабораторного стенда

Для подключения ФЭМ к лабораторному стенду выбран двухжильный акустический кабель Proconnect 01-6108-6 сечением 2,5 мм² от производителя Proconnect (Китай). Акустический кабель, в отличие от специализированного солнечного, имеет один слой изоляции, но учитывая тот факт, что кабель располагается в помещении и не будет подвергаться воздействиям окружающей среды (дождь, снег, ультрафиолетовое излучение, температурные перепады), но имеет меньшую стоимость и

большее распространение, выбор можно считать целесообразным. Для защиты от механических повреждений кабель монтируется в кабельный канал. Акустический кабель состоит из двух параллельных многожильных проводников в изоляции из поливинилхлоридного пластика красного и черного цвета. Разноцветная изоляция проводников позволяет избежать переполюсовки. Акустический кабель рассчитан на напряжение постоянного тока не выше 42 В [28].



Рисунок 53 – Внешний вид кабеля Proconnect 01-6108-6

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 42 \geq U_{ном.сети} = 12 .$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (35):

$$I_{прод.доп} = 30 \geq I_{прод.расч} = 6,04 .$$

Условие (35) выполняется.

Выбранный кабель отвечает заданным условиям.

3.9.2 Выбор кабеля от аккумуляторной батареи до контроллера

Для соединения АКБ и контроллера, либо инвертора (зависит от выбранной схемы коммутации), выбран кабель ПуГВ 1х16 сечением 16 мм². Кабель производится на территории Р4Ф по ГОСТ 31947-2012 и ТУ 3551-007. ПуГВ расшифровывается как провод установочный для монтажа, требующего особой гибкости, в изоляции из ПВХ-пластиката пониженной пожарной опасности. Кабель состоит из одного многожильного медного проводника, рассчитанного на постоянное напряжение до 1000 В [29]. Изоляция имеет белый цвет.



Рисунок 54 – Внешний вид кабеля ПуГВ 1х16

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 1000 \geq U_{ном.сети} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (35):

$$I_{прод.доп} = 100 \geq I_{прод.расч} = I_{ном.}^{F1} = 50.$$

Условие (35) выполняется.

Выбранный кабель отвечает заданным условиям.

3.9.3 Выбор кабеля для связи с электрической сетью и питания прожекторов

Связь с электрической сетью осуществлена соединением инвертора и электрической бытовой сети 220 В кабелем ПВС 2х2,5 сечением 2,5 мм². ПВС расшифровывается, как провод в поливинилхлоридной изоляции и внешней оболочке соединительный. Материал исполнения жил – медь. Кабель ПВС предназначен для работы под напряжением до 380 В [30].



Рисунок 55 – Внешний вид кабеля ПВС 2х2,5

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 380 \geq U_{ном.сети} = 220.$$

Условие (31) выполняется.

Расчетный допустимый длительный ток, протекающий через кабель ПВС 2х2,5, А

$$I_{прод.расч} = \frac{P_{инв.}^{доп.вых}}{U_{ном}} = \frac{2500}{220} = 11,36. \quad (36)$$

Проверка по условию (35):

$$I_{прод.доп} = 30 \geq I_{прод.расч} = 11,36.$$

Условие (35) выполняется.

Выбранный кабель отвечает заданным условиям.

Также кабель ПВС 2х2,5 используется для подключения прожекторов к лабораторному стенду. Мощность прожекторов меньше мощности инвертора, а это значит, что кабель подходит для питания прожекторов и в дополнительной проверке не нуждается.

3.9.4 Выбор кабеля от инвертора до контроллера и нагрузки

Для соединения инвертора и контроллера, а также подключения нагрузки, выбран кабель ПуГВ 1х2,5 сечением 2,5 мм². Кабель состоит из одного многожильного медного проводника. ПуГВ рассчитан на постоянное напряжение до 1000 В [29]. Изоляция имеет белый цвет.



Рисунок 56 – Внешний вид кабеля ПуГВ 1х2,5

Расчетные допустимые длительные токи, протекающие через кабель ПуГВ 1х2,5, А

$$I_{\text{инв/конт. макс}} = I_{\text{контр. ном.}} = 20, \text{ А}; \quad (37)$$

$$I_{\text{нагр.12В макс}} = 4 \cdot \frac{P_{\text{нагр.наиб. ном.}}}{U_{\text{нагр. ном.}}} = 4 \cdot \frac{P_{\text{MR16 ном.}}}{U_{\text{MR16 ном.}}} = 4 \cdot \frac{20}{12} \approx 6,67, \text{ А}; \quad (38)$$

$$I_{\text{нагр.220В макс}} = n_{\text{потреб.}} \cdot \frac{P_{\text{нагр.наиб. ном.}}}{U_{\text{нагр. ном.}}} = 11 \cdot \frac{P_{\text{PhilipsA55 ном.}}}{U_{\text{нагр. ном.}}} = 11 \cdot \frac{75}{220} \approx 3,75, \text{ А}. \quad (39)$$

Для проверки выбранного кабеля по условиям (31) и (35) принято наибольшее расчетное значение допустимого длительного тока, А

$$I_{\text{прод.расч}} = I_{\text{инв/конт. макс}} = I_{\text{контр. ном.}} = 20.$$

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном}} = 1000 \geq U_{\text{ном.сети}} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (35):

$$I_{\text{прод.доп}} = 30 \geq I_{\text{прод.расч}} = 20$$

Условие (35) выполняется.

Выбранный кабель отвечает заданным условиям.

3.9.5 Выбор кабелей для вторичных источников питания

Для подключения импульсного блока питания, осуществляющего питание измерительных приборов, а, также, подключения индикаторных ламп на стороне 220 В выбран кабель ШВВП 2х0,75 сечением 0,75 мм². ШВВП - шнур с параллельными жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, с поливинилхлоридной оболочкой, гибкий на напряжение до 380 В [30]. Кабель производится на территории РФ по ГОСТ 7399-97.

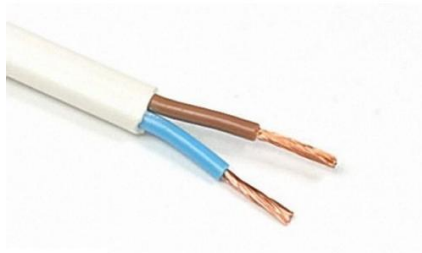


Рисунок 57 – Внешний вид кабеля ШВВП 2х0,75

Для проверки выбранного кабеля по условиям (31) и (35) определено наибольшее расчетное значение допустимого длительного тока, А

$$I_{\text{прод.расч}} = \frac{P_{\text{ном.нагр.наиб.}}}{U_{\text{ном.нагр.ном.}}} = \frac{P_{\text{БП ном}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{24}{220} = 0,11. \quad (40)$$

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном}} = 380 \geq U_{\text{ном.сети}} = 220.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (35):

$$I_{\text{прод.доп}} = 15 \geq I_{\text{прод.расч}} = 0,11.$$

Условие (35) выполняется.

Выбранный кабель отвечает заданным условиям.

Для подключения измерительных приборов и подсветки на стороне 12 В выбран двухжильный акустический кабель Proconnect 01-6103-6 сечением 0,5 мм² от производителя Proconnect (Китай).



Рисунок 58 – Внешний вид кабеля Proconnect 01-6103-6

Для проверки выбранного кабеля по условиям (31) и (35) определено наибольшее расчетное значение допустимого длительного тока, А

$$I_{\text{прод.расч}} = n_{\text{изм.пр.}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{изм.пр.}} + I_{\text{LED}} \cdot \frac{P_{\text{ном}}^{\text{LED}}}{U_{\text{ном}}^{\text{LED}}} = 6 \cdot 0,03 + 1,5 \cdot \frac{7,2}{12} = 1,08.$$

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном}} = 42 \geq U_{\text{ном.сети}} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (35):

$$I_{\text{прод.дон}} = 11 \geq I_{\text{прод.расч}} = 1,08$$

Условие (35) выполняется.

Выбранный кабель отвечает заданным условиям.

3.10 Контрольно-измерительные приборы установки

Выбор контрольно-измерительных приборов производят по условию (31). Также необходимо, чтобы максимальные и минимальные значения тока и напряжения в месте включения прибора полностью попадали в диапазон измеряемых величин прибора.

Для отслеживания параметров ФЭМ и нагрузки на стороне 12 В выбраны цифровые вольтметры и амперметры, выполненные в одном корпусе серии SVAL0013 от Smartmodule (Россия): SVAL0013NW-100V-E50A и SVAL0013PN-100V-E50A. Приборы полностью идентичны и отличаются лишь способом исполнения дисплея. SVAL0013NW имеет подсветку, SVAL0013PN выполнен без подсветки.



Рисунок 59 – Внешний вид SVAL0013NW-100V-E50A

Технические характеристики цифровых измерительных приборов представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Технические характеристики SVAL0013

Параметр	Значение
Шунт (в комплект не входит)	50 А, 75 мВ
Напряжение питания (фильтрованное)	6 ÷ 35 В
Потребляемый ток	0,03 А
Диапазон измеряемых напряжений	0 ÷ +99,9 В
Диапазон измеряемых токов	-50,0 ÷ +50,0 А
Дискретность измерения напряжения	0,1 В
Дискретность измерения тока	0,1 А
Погрешность измерения напряжения	1,00 %
Погрешность измерения тока	2,00 %
Температура эксплуатации	-20 ÷ +70 °С

SVAL0013 включаются согласно схеме, изображенной на рисунке 60.

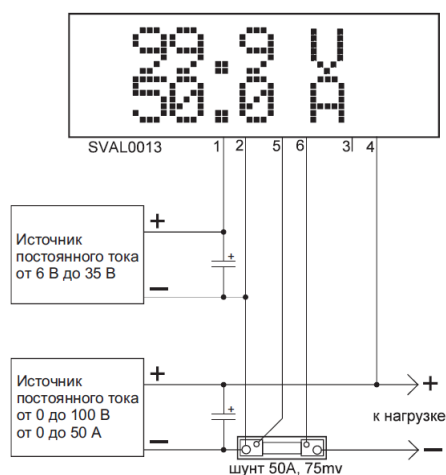


Рисунок 60 – Схема включения SVAL0013

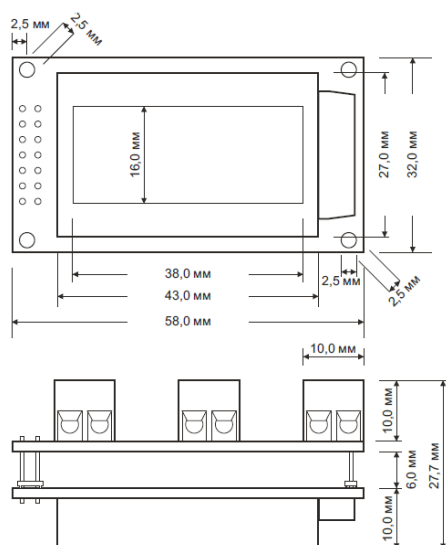


Рисунок 61 – Габаритный чертеж SVAL0013

Для корректной работы приборов SVAL0013 необходим шунт, рассчитанный на номинальный ток 50 А с номинальным падением напряжения 75 мВ. Выберем шунт 75ШИП1-50-0.5. Шунты 75ШИП производятся на территории РФ в соответствии с ТУ 4229-001-94077612-06.



Рисунок 62 – Внешний вид шунта 75ШИП1-50-0.5

Габаритный чертеж 75ШИП изображен на рисунке 63. На чертеже: $L = 100$ мм, $B = 20$ мм, $H = 13$ мм, $A = 85$ мм, $h = 3$ мм [18].

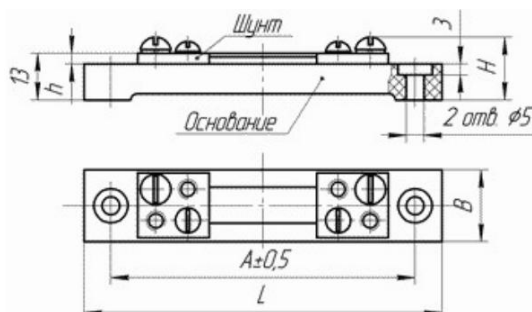


Рисунок 63 – Габаритный чертеж шунта 75ШИП1-50-0.5

Для придания приборам законченного эстетического вида понадобятся лицевые панели FS60x34B-38x16 от компании Smartmodule (Россия).



Рисунок 64 – Внешний вид лицевой панели FS60x34B-38x16

Лицевая панель черного цвета имеет внешние размеры - 60 x 34 мм, прозрачное внутреннее окно 38 x 16 мм. Панель крепится на прозрачный скотч 3М [31].

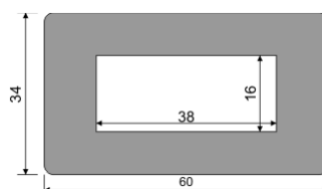


Рисунок 65 – Габаритный чертеж лицевой панели FS60x34B-38x16

Для возможности осуществления наблюдения за параметрами нагрузки на стороне 220 В выбран встраиваемый мультиметр ИМС-Ф1.Щ1 от компании ОВЕН (Россия). Прибор ИМС-Ф1.Щ1 предназначен для измерения параметров однофазной электрической сети, таких как напряжение, ток, частота, полная, активная и реактивная мощности и коэффициент мощности ($\cos \phi$). Прибор может быть использован в различных отраслях промышленности, коммунального и сельского хозяйства. Прибор позволяет осуществлять следующие функции: измерение параметров сети; отображение текущих измерений на встроенных светодиодных цифровых индикаторах [32].



Рисунок 66 – Внешний вид мультиметра ИМС-Ф1.Щ1

Общие технические характеристики прибора приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Технические характеристики ИМС-Ф1.Щ1

Наименование	Значение
Напряжение питания, В	от 90 до 264 частотой от 47 до 63 Гц
Потребляемая мощность, ВА	не более 6
Количество входов	2
Время опроса входа, с	не более 1
Входное сопротивление канала измерения напряжения, кОм	не менее 500
Входное сопротивление канала измерения тока, кОм	не более 0,07
Степень защиты корпуса	IP54
Габаритные размеры прибора, мм	$(96 \times 96 \times 65) \pm 1$
Масса прибора, кг	не более 0,5
Средний срок службы, лет	10

Измеряемые параметры приведены в таблице 34.

Таблица 34 - Измеряемые параметры ИМС-Ф1.Щ1

Измеряемый параметр	Диапазон измерений		Основная погрешность измерений, %
	Прямое подключение	Подключение с использованием трансформаторов тока	
Переменное напряжение, В (действующее значение)	от 40 до 400	от 40 до 400	$\pm 0,5$
Переменный ток, А (действующее значение)	от 0,02 до 5	от 0,02 до 1000	$\pm 0,5$
Активная мощность, кВт	от 0,02 до 2,000	от 0,02 до 400	$\pm 1,0$
Реактивная мощность, кВАр	от 0,02 до 2,000	от 0,02 до 400	$\pm 1,0$
Полная мощность, кВА	от 0,02 до 2,000	от 0,02 до 400	$\pm 1,0$
Частота, Гц	от 43,00 до 63,00	от 43,00 до 63,00	$\pm 0,5$
Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	от 0 до 1,000	от 0 до 1,000	$\pm 2,0$

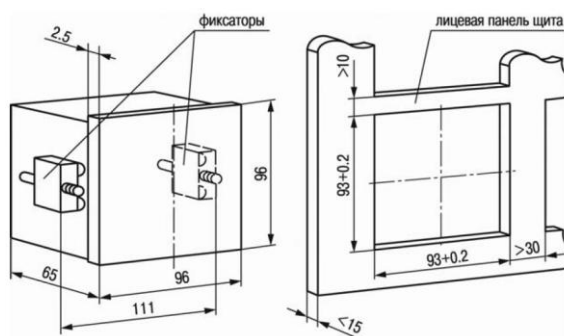


Рисунок 67 – Габаритный чертеж лицевой панели ИМС-Ф1.Щ1

Правильность выбора контрольно-измерительной аппаратуры проверим согласно условию (31) и требованию к диапазонам измеряемых токов и напряжений. Расчетные и паспортные данные сведены в таблицу 35.

Таблица 35 - Паспортные данные измерительных приборов и параметры в месте их включения

	Параметры в месте включения SVAL0013	Параметры SVAL0013	Параметры в месте включения ИМС-Ф1.Щ	Параметры ИМС-Ф1.Щ1
Напряжение питания, В	12	6 ÷ 35	220	90 ÷ 264
Диапазон измеряемых напряжений, В	0 ÷ 23,83	0 ÷ +99,9	220	40 ÷ 400
Диапазон измеряемых токов, А	0 ÷ 30	-50 ÷ +50	0 ÷ 3,41	0 ÷ 5

Выбранные измерительные приборы отвечают всем заданным условиям.

3.11 Оборудование для установки имитации инсоляции

Установка имитации инсоляции является приставкой к лабораторному стенду, предназначена для создания регулируемого светового потока для освещения ФЭМ, заключенных в светонепроницаемые короба.

В качестве источника света выбраны галогенные прожекторы заливающего света, выбор прожекторов произведен по условию (31).

Прожекторы серии NFL-T2H2 от производителя NAVIGATOR (Россия). Модель NFL-T2H2 имеет 2 галогенных прожектора по 500 Вт на раздвижном штативе для гибкого регулирования высоты освещения [33]. Прожекторы монтируются в короба непосредственно, штатив может использоваться при необходимости дополнительного освещения.



Рисунок 68 – Внешний вид прожекторов NFL-T2H2

Таблица 36 – Технические характеристики прожектора NFL-T2H2

Наименование	Значение
Напряжение, В	220 ÷ 240
Частота, Гц	50
Мощность, Вт	500
Световой поток, Лм	15000
Тип патрона	R7s
Тип лампы	J117
Степень защиты	IP 54

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном}} = 240 \geq U_{\text{ном.сети}} = 220.$$

Условие (31) выполняется.

Выбранные прожекторы отвечают заданным условиям.

Для осуществления возможности плавной регулировки яркости свечения галогенных ламп необходимы диммеры – электронные устройства,

предназначенные для изменения электрической мощности (регуляторы мощности).

Выбор диммеров произведен по условию (31) и максимальной мощности:

$$P_{ном} \geq P_{раб.мах} , \quad (41)$$

где $P_{ном}$ - номинальная мощность электрического аппарата, А;

$P_{раб.мах}$ - максимальная рабочая мощность нагрузки, А.

Выбраны диммеры Lillium Natural Kare от компании Makel (Турция). Выбранные диммеры применимы с галогенными лампами и лампами накаливания мощностью от 60 до 600 Вт при напряжении сети от 220 до 250 В. Степень защиты от пыли и воды – IP20.



Рисунок 69 – Внешний вид диммера Lillium Natural Kare

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 250 \geq U_{ном.сети} = 220 .$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (41):

$$P_{ном} = 600 \geq P_{раб.мах} = 500 .$$

Условие (41) выполняется.

Выбранные диммеры отвечают заданным условиям.

При работе прожектор с галогенной лампой сильно нагревается. Прожектор находится в одном корпусе с ФЭМ, тем самым нагревает и его. Нагрев ФЭМ, в свою очередь, изменяет его характеристики, что крайне нежелательно для лабораторной установки. Минимизировать нагрев воздуха внутри корпуса установки имитации инсоляции можно использованием активного охлаждения. Для этого необходимо проделать отверстия в корпусе с верхней и нижней сторон и установить вентиляторы, один на вдув и два на выдув, обеспечив, таким образом, циркуляцию воздушных масс внутри корпуса установки.

Выбор вентиляторов произведен по условию (31).

Для активного охлаждения выбраны вентиляторы F12025S-3 от компании 5Vites (Китай) в количестве 6 шт. F12025S-3 - это стандартный 120 миллиметровый корпусной вентилятор, подходящий для подавляющего большинства домашних систем. Вентилятор имеет стандартную систему крепления на винты. Подшипник скольжения используемый в данной модели, обеспечивает низкий уровень шума [34].



Рисунок 70 – Внешний вид вентилятора F12025S-3

Таблица 37 – Технические характеристики вентилятора F12025S-3

Наименование	Значение
Максимальное рабочее напряжение, В	12
Стартовое напряжение, В	7
Максимальный ток, мА	130
Максимальная скорость вращения, об/мин	1200
Воздушный поток на максимальной скорости, CFM	71
Максимальный уровень шума, дБ	25
Время безотказной работы, ч	15000
Габариты вентилятора (ВхШхГ), мм	120x120x25

Проверка по условию (31):

$$U_{ном} = 12 \geq U_{ном.сети} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Выбранные вентиляторы отвечают заданным условиям.

3.12 Вторичные источники питания

В лабораторном стенде имеется оборудование, работающее как от сети переменного напряжения 220 В, так и от 12 В постоянного напряжения. Для работы потребителей на 12 В (контрольно-измерительные приборы, вентиляторы, подсветка) необходимо использовать вторичные источники питания (ВИП). Стоит отметить, что напряжение 12 В постоянного тока имеется на выходе контроллера, но перечисленное выше оборудование необходимо запитать от отдельных источников, чтобы исключить влияние на работу основного оборудования и показания приборов.

В качестве ВИП выбран блок питания для светодиодной ленты ZTS-25W-X (Китай). Выбор произведен по условиям (31) и (32).

ZTS-25W-X – импульсный блок питания для обеспечения низковольтных устройств стабилизированным постоянным напряжением. Для лабораторного стенда необходимо 3 шт. Один для питания измерительной аппаратуры и подсветки аккумулятора, два других – для независимого друг от друга питания вентиляторов охлаждения установок имитации инсоляции.



Рисунок 71 – Внешний вид ВИП ZTS-25W-X

Таблица 38 – Технические характеристики блока питания ZTS-25W-X

Наименование	Значение
Номинальное рабочее напряжение, В	12
Максимальный рабочий ток, А	2
Мощность, Вт	24

Расчет максимально возможных рабочих токов в цепях ВИП, А

$$I_{\text{макс}}^{\text{ВИП1}} = 6 \cdot I_{\text{ном}}^{\text{изм.пр.}} + 1,5 \cdot \frac{P_{\text{ном}}^{\text{LED}}}{U_{\text{ном}}^{\text{LED}}} = 6 \cdot 0,03 + 1,5 \cdot \frac{7,2}{12} = 1,08; \quad (42)$$

$$I_{\text{макс}}^{\text{ВИП2}} = I_{\text{макс}}^{\text{ВИП3}} = 3 \cdot I_{\text{ном}}^{\text{вент.}} + I_{\text{ном}}^{\text{инд.}} = 3 \cdot 0,13 + 0,02 = 0,41. \quad (43)$$

Для проверки выбранного ВИП по условиям (31) и (32) принято наибольшее расчетное значение максимального рабочего тока, А

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{макс}}^{\text{ВИП1}} = 1,08.$$

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном}}^{\text{HH}} = 12 \geq U_{\text{ном.сети}} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (32):

$$I_{\text{ном}} = 2 \geq I_{\text{раб.макс}} = 1,08.$$

Условие (32) выполняется.

Выбранные ВИП отвечают заданным условиям.

Для подключения внешних потребителей, рассчитанных на напряжение 5 В (мобильные телефоны, планшеты) предусмотрим ВИП, представляющий из себя DC/DC конвертер (преобразователь постоянного напряжения) и разъем USB Type A.

Выбрано устройство ACS-2U-02 от производителя AIRLINE (Китай). Выбор произведен по условию (31). ACS-2U-02 представляет из себя влагозащищенную автомобильную розетку со встроенным DC/DC конвертером и с 2 портами USB Type A с выходным напряжением 5В и рассчитанными ток 2,1 и 1 А. Суммарный ток на стороне низшего напряжения - 3,1 А. Розетка закрывается брызгозащитной резиновой заглушкой [35].



Рисунок 72 – Внешний вид ВИП ACS-2U-02

Проверка по условию (31):

$$U_{ном}^{ВН} = 12 \geq U_{ном.сети} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Выбранный ВИП отвечает заданным условиям.

3.13 Электрическая нагрузка на стороне 12 В

В качестве электрической нагрузки на стороне 12 В используем галогенные лампы MR16 от компании Feron (Китай).



Рисунок 73 – Внешний вид галогенной лампы MR16

Таблица 39 – Технические характеристики галогенной лампы MR16

Наименование	Значение
Тип лампы	MR16
Цоколь	G5.3
Длина, мм	45
Диаметр, мм	50
Напряжение, В	12
Мощность, Вт	20
Ресурс, ч	2000

Для монтажа ламп требуются встраиваемые светильники. Выбраны светильники встраиваемые СВ 01-01 от производителя TDM Electric (Россия).



Рисунок 74 – Внешний вид светильника встраиваемого СВ 01-01

Таблица 40 – Технические характеристики светильника встраиваемого СВ 01-01

Наименование	Значение
Мощность, Вт	50
Цоколь	G5.3
Наружный диаметр, мм	65
Глубина установочная, мм	70
Напряжение, В	12
Степень защиты	IP20

3.14 Электрическая нагрузка на стороне 220 В

В качестве электрической нагрузки на стороне 220 В используются лампы, выполненные по различным технологиям (накаливания, люминесцентные, светодиодные) и асинхронный однофазный двигатель. Основная идея – создать на выходе инвертора как активную, так и индуктивную нагрузку.

Лампы накаливания 75W A55 E27 FR матовые в количестве двух штук от компании Philips (Нидерланды).



Рисунок 75 – Внешний вид лампы накаливания 75W A55 E27 FR

Таблица 41 – Технические характеристики лампы накаливания 75W A55 E27 FR

Наименование	Значение
Тип лампы	накаливания
Форма колбы лампы	груша
Типоразмер лампы	A55
Цвет колбы	матовая
Тип цоколя	E27
Напряжение, В	220
Мощность, Вт	75
Световой поток, Лм	930

Также используем лампу накаливания P-45 (ДШ) clear 230V 60W E27 от компании Philips (Нидерланды).



Рисунок 76 – Внешний вид лампы накаливания P-45 (ДШ)

Таблица 42 – Технические характеристики лампы накаливания P-45 (ДШ)

Наименование	Значение
Тип лампы	накаливания
Форма колбы лампы	шар
Цвет колбы	прозрачный
Тип цоколя	E27
Напряжение, В	230
Мощность, Вт	60
Срок службы, ч	1000



Таблица 43 – Технические характеристики лампы накаливания 60W E27

Лампа светодиодная 9W 230V E27 4000K от компании Feron (Китай).



Таблица 44 – Технические характеристики лампы накаливания 9W 230V E27 4000K

Наименование	Значение
Тип лампы	светодиодная
Форма колбы лампы	шар
Типоразмер лампы	A60
Цвет колбы	прозрачный
Тип цоколя	E27
Напряжение, В	230
Мощность, Вт	9
Световой поток, Лм	950

Лампа светодиодная LED-G45 0,65W E27 от производителя Uniel (Китай).



Рисунок 79 – Внешний вид лампы накаливания LED-G45 0,65W E27

Таблица 45 – Технические характеристики лампы накаливания LED-G45 0,65W E27

Наименование	Значение
Тип лампы	светодиодная
Форма колбы лампы	шар
Цвет колбы	зеленый
Тип цоколя	E27
Напряжение, В	220 В
Мощность, Вт	0,65 Вт

Лампа светодиодная 15W 230V E27 6400K от компании Feron (Китай).



Рисунок 80 – Внешний вид лампы накаливания 15W 230V E27 6400K

Таблица 46 – Технические характеристики лампы накаливания 15W 230V E27 6400K

Наименование	Значение
Тип лампы	светодиодная
Форма колбы лампы	шар
Типоразмер лампы	A60
Цветовая температура, К	6400
Цвет колбы	белый
Рассеиватель	матовый
Тип цоколя	E27
Напряжение, В	230
Мощность, Вт	15
Световой поток, Лм	1300

Люминесцентные лампы Т3 20W E27 от компании Feron (Китай) в количестве трех штук разных цветов (желтый, зеленый, синий).



Рисунок 81 – Внешний вид люминесцентной лампы Т3 20W E27 зеленого цвета

Таблица 47 – Технические характеристики лампы Т3 20W E27

Наименование	Значение
Тип лампы	люминесцентная
Форма колбы лампы	спираль
Тип трубки	Т3
Цвет колбы	желтый/зеленый/синий
Тип цоколя	E27
Напряжение, В	230
Мощность, Вт	20

Для монтажа ламп необходимы патроны. Выбран патрон карболитовый потолочный прямой E27 от производителя TDM Electric (Россия).



Рисунок 82 – Внешний вид потолочного патрона E27

Таблица 48 – Технические характеристики потолочного патрона E27

Наименование	Значение
Цоколь	E27
Материал	карболит
Цвет	черный
Напряжение, В	220

В качестве электрической нагрузки также используется электродвигатель асинхронный реверсивный с встроенным редуктором РД-09. Данный

двигатель предназначен для работы в качестве исполнительных двигателей в следящих системах автоматических приборов, игровых автоматов, электрогрилей, дозаторов подачи жидкостей, сыпучих материалов [36].



Рисунок 83 – Внешний вид электродвигателя РД-09

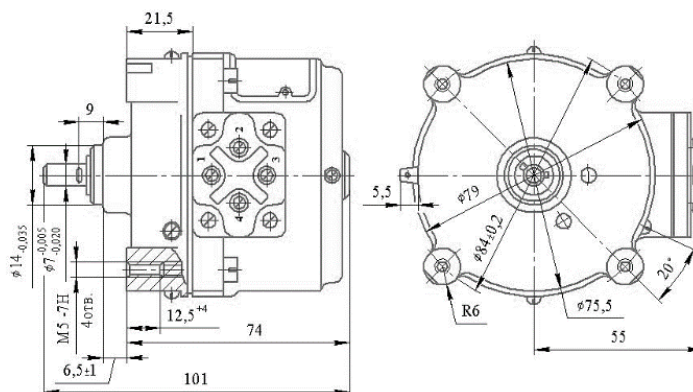


Рисунок 84 – Габаритный чертеж электродвигателя РД-09

Таблица 49 – Технические характеристики электродвигателя РД-09

Наименование	Значение
Номинальное напряжение питания, В	127, 220
Частота питающего напряжения, Гц	50
Мощность потребляемая, Вт	10
Номинальная полезная мощность на валу ротора, Вт	1
Частота вращения выходного вала редуктора, об/мин	1,75; 2,5; 4,4; 8,7; 15,5; 30; 76; 185
Пусковой момент на выходном валу редуктора (в зависимости от редукции), Н·м	0,063; 0,156; 0,392; 0,754; 1,27
Ток, потребляемый обмоткой управления на холостом ходу, А, не более	0,06; 0,35; 0,7
Напряжение трогания на обмотке управления, В, не более	10; 1,5; 0,8
Режим работы	продолжительный
Климатическое исполнение	УХЛ категории 4
Габариты, мм	96x103x101

3.15 Выбор вспомогательного оборудования

3.15.1 Выбор диода Шоттки

Для того, чтобы избежать потери мощности при рассогласовании работы ФЭМ, а также для защиты АКБ от разряда в темное время суток используются диоды Шоттки SR860 от MIC ELECTRONIC CO., LTD (Китай).

Выбор диодов произведен по следующим условиям:

- Обратному напряжению:

$$U_{обр.}^{VD} \geq U_{обр.}^{GB}, \quad (44)$$

где $U_{обр.}^{VD}$ - максимальное постоянное обратное напряжение диода, В;

$U_{обр.}^{GB}$ - максимально возможное обратное напряжение от солнечных модулей, В.

- Прямому току:

$$I_{пр.}^{VD} \geq I_{мах.}^{GB}, \quad (45)$$

где $I_{пр.}^{VD}$ - максимальный прямой ток диода, А;

$I_{мах.}^{GB}$ - максимально возможный прямой ток от солнечного модуля, А.

Выбраны диоды Шоттки SR860 от MIC ELECTRONIC CO., LTD (Китай).



Рисунок 85 – Внешний вид диода Шоттки SR860

Таблица 50 – Технические характеристики диода Шоттки SR860

Наименование	Значение
Материал	кремний
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	60
Максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток, А	8
Максимальный обратный ток, мкА (25°C)	5000
Максимальное прямое напряжение, В	0.75
Рабочая температура, С	-65...125

Проверка по условию (44):

$$U_{обр.}^{VD} = 60 \geq U_{обр.}^{GB} = U_{XX}^{CM(полукр.)} = 23,83$$

Условие (44) выполняется.

Проверка по условию (45):

$$I_{np.}^{VD} = 8 \geq I_{max.}^{GB} = I_{K3}^{CM(монокр.)} = 6,040,$$

Условие (45) выполняется.

Выбранный диод Шоттки отвечает заданным условиям.

3.15.2 Выбор индикаторных ламп

Чтобы сделать эксплуатацию стенда была наиболее удобной, установлены индикаторные лампы, которые сигнализируют о тех или иных режимах работы оборудования в настоящий момент времени.

Выбор индикаторных ламп произведен по условию (31).

На напряжение 220 В выбраны индикаторные лампы N-XD10-8W-Y от производителя Yueqing Daier Electron Co., Ltd. (Китай).



Рисунок 86 – Внешний вид индикаторной лампы N-XD10-8W-Y

Таблица 51 – Технические характеристики индикаторной лампы N-XD10-8W-Y

Наименование	Значение
Диаметр корпуса, мм	10
Длина выводов, мм	150
Функциональное назначение	лампа неоновая
Напряжение, В	220
Цвет свечения	желтый

Проверка по условию (31):

$$U_{ном.} = 220 \geq U_{ном.сети} = 220$$

Условие (31) выполняется.

Выбранная индикаторная лампа отвечает условиям проверки.

На напряжение 12 В выбраны индикаторные лампы XD10-1M-G-12VDC от производителя Yueqing Daier Electron Co., Ltd. (Китай).



Наименование	Значение
Диаметр корпуса, мм	10
Напряжение, В	12
Цвет свечения	зеленый

Проверка по условию (31):

$$U_{ном.} = 12 \geq U_{ном.сети} = 12$$

Условие (31) выполняется.

Выбранная индикаторная лампа отвечает условиям проверки.

3.15.3 Выбор клемм

Для подключения кабелей, проложенных от ФЭМ к лабораторному стенду, необходимы клеммы.

Выбор клемм производится по следующим условиям (31) и (32):

Выберем клеммы ВР-1А (аналог JR-2647 производимый в Китае) красного и черного цветов.

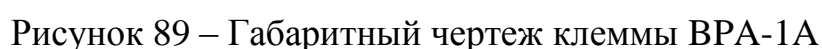


Таблица 53 – Технические характеристики вид клеммы ВР-1А

Наименование	Значение
Предельный ток, А	10
Предельное напряжение, В	500
Материал изолятора	нейлон
Сопротивление изолятора, МОм	10
Сопротивление контакта, Ом	0,02
Допустимые температуры, °С	-40 ÷ 105

Для проверки выбранных клемм по условиям (31) и (32) принято наибольшее расчетное значение максимального рабочего тока, А

$$I_{\text{раб.мах}} = I_{\text{КЗ}}^{\text{СМ (монокр.)}} = 6,04. \quad (46)$$

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном}} = 500 \geq U_{\text{ном.сети}} = 12.$$

Условие (31) выполняется.

Проверка по условию (32):

$$I_{\text{ном}} = 10 \geq I_{\text{раб.мах}} = 6,04.$$

Условие (32) выполняется.

Выбранные клеммы отвечают заданным условиям.

3.15.4 Выбор розетки 12 В

Для подключения внешней нагрузки 12 В необходимо гнездо типа «прикуриватель». Выбор розетки на 12 В производят по номинальному напряжению, согласно условию (31).

Выбрано гнездо прикуривателя автомобильное с креплением.



Рисунок 90 – Внешний вид гнезда прикуривателя автомобильного с креплением

Проверка по условию (31):

$$U_{\text{ном.}} = 12 \geq U_{\text{ном.сети}} = 12$$

Условие (31) выполняется.

Выбранное гнездо прикуривателя автомобильное с креплением отвечает условиям проверки.

3.15.5 Выбор розетки 220 В

Для подключения внешней нагрузки 220 В к инвертору необходима розетка 220 В. Выбор розетки произведен по номинальному напряжению, согласно условию (31). Максимальный ток, на который рассчитана розетка принят за ограничение максимального тока нагрузки.

Выбрана розетка без заземления Wessen (Россия).



Рисунок 91 – Внешний вид розетки Wessen

Проверка по условию (31):

$$U_{ном.} = 250 \geq U_{ном.сети} = 220$$

Условие (31) выполняется.

Выбранная розетка отвечает условиям проверки.

Розетка рассчитана на номинальный ток 16 А, подключать нагрузку, потребляющую больший ток запрещено.

3.15.6 Выбор светодиодной ленты

Для подсветки отсека с АКБ используется светодиодная лента длиной 1,5 м. Выбор производят по номинальному напряжению, согласно условию (31).

Выбрана лента светодиодная с параметрами 30 LED/1м.п. белого теплого свечения в негерметичном исполнении. Светодиодная лента потребляет 7,2 Вт на 1 м.п., напряжение питания – 12 В [37].



Рисунок 92 – Внешний вид светодиодной ленты

Проверка по условию (31):

$$U_{ном.} = 12 \geq U_{ном.сети} = 12$$

Условие (31) выполняется.

Выбранная светодиодная лента отвечает условиям проверки.

4 Сводный сметный расчет

Составим сводную смету всех необходимых для сборки лабораторного стенда затрат. Затраты состоят из стоимости оборудования с учетом НДС, стоимости доставки, страховых сборов, стоимости расходных материалов и средств индивидуальной защиты, стоимости обработки материалов. В смету не включены затраты на доставку оборудования самовывозом. Также в смете отсутствуют затраты на сборку стенда, так как сборка стенда осуществлена без использования наемного труда силами студентов и преподавателей кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы». Затраты сведены в таблицу 54.

Таблица 54 – Смета сводная

№ п/п	Наименование	Кол-во	Стоимость за шт, руб	Сумма
1	Блок питания для светодиодной ленты 24W 12V 2A	1 шт	350,00	350,00
2	Выключатель автоматический ВА47-29 2п С 16А, TDM	1 шт	178,00	178,00
3	Выключатель клавишный круглый 12V 20A (3с) ON-OFF, в ассортименте [161]	5 шт	44,00	220,00
4	Выключатель клавишный круглый 250V 6A (3с) ON-OFF, с подсветкой, в ассортименте [163]	11 шт	44,00	484,00
5	Кнопка APBB-22N d22 мм неон на 2 пол. I-0 1з+1р [18], TDM	1 шт	224,00	224,00
6	Кулачковый переключатель КПУ11-25/52 (1-0-2 2р), TDM	1 шт	599,00	599,00
7	Лампа P-45 (ДШ) clear 230V 60W E27, Philips	2 шт	45,00	90,00
8	Лампа накаливания 75W A55 E27 FR, матовая, Philips	1 шт	65,00	65,00
9	Лампа светодиодная 9W 230V E27 4000K, Feron	1 шт	180,00	180,00
10	Лампа светодиодная LED-G45 0,65W E27 зеленый, Uniel	1 шт	175,00	175,00
11	Лампа синяя 60W E27, Калашниково	1 шт	105,00	105,00
12	Лампа энергосберегающая, Т3 20W E27 желтая, Feron	1 шт	260,00	260,00

13	Лампа энергосберегающая, Т3 20W E27зеленая, Feron	1 шт	260,00	260,00
14	Лампа энергосберегающая, Т3 20W E27синяя, Feron	1 шт	260,00	260,00
15	Пакетный выключатель ПВ2-63 исп.3 2П 63А 220В IP00, TDM	2 шт	627,00	1254,00
16	Лампа светодиодная 15W 230V E27 6400K, Feron	1 шт	130,00	130,00
17	H520 (ZH214), 6А, 250В, 5×20 мм, Предохранитель, Китай	5 шт	5,00	25,00
18	H520 (ZH214), 20А, 250В, 5×20 мм, Предохранитель, Китай	5 шт	5,00	25,00
19	AGU (AUE), 50А, 10×38 мм, Предохранитель, Conquer	5 шт	19,00	95,00
20	CQ-225, 10×38 мм, Держатель под предохранитель на панель, Conquer	1 шт	200,00	200,00
21	SR860 (SR806), Диод Шоттки 8А/150А 60В [ТО-220], Китай	5 шт	33,00	165,00
22	DT-1300, Люксметр\СЕМ	3 шт	1850,00	5500,00

Продолжение таблицы 54

23	XD10-1M-G-12VDC, Светодиод с держателем зеленый 10 мм 12VDC, Daier	3 шт	71,00	213,00
24	N-XD10-8 W-Y, Лампа неоновая с держателем желтая 220VAC, Daier	3 шт	24,00	72,00
25	N-XD10-8 W-R, Лампа неоновая с держателем Красная 220VAC, Daier	1 шт	28,00	28,00
26	CA25-SS211N, Переключатель желтый с подсветкой Ф25, Cirmaker	2 шт	330,00	660,00
27	CA25-SS211N (R), Переключатель красный с подсветкой Ф25, Cirmaker	1 шт	330,00	330,00
28	KN3(B)-201-A1, Тумблер ON-OFF (6А 250VAC) DPST 4P, Китай	1 шт	65,00	65,00
29	KN3(B)-101AP-A1, Тумблер ON-OFF (10А 250VAC) SPST 2P, Jietong Switch	5 шт	65,00	325,00
30	KN3(B)-103AAP-A3, Тумблер ON-OFF-ON (15А 250VAC) SPST 3P, Jietong Switch	5 шт	74,00	370,00
31	BP-1A RED, Клемма на приборный блок тип 1 (красный), Китай	10 шт	27,00	270,00
32	BP-1A RED, Клемма, Гнездо на приборный блок черное, Китай	7 шт	90,00	630,00
33	75ШИП1-50-0.5, Шунт 50А 75 мВ, Россия	6 шт	340,00	2040,00
34	FS60×34В-38×16, Модуль, Лицевая панель черная – 60×34 мм, прозрачное окно 38×16 мм, Smartmodule	2 шт	140,00	280,00
35	SVAL0013PN-100V-E50A, Модуль, Цифровой вольтметр (до 100В) + амперметр постоянного тока без шунта (до 50А), Smartmodule	2 шт	880,00	1760,00
36	Страховой сбор 4% от стоимости товара на заказ с сайта «Чип и Дип»		524,00	542,00
37	Почтовые расходы на заказ с сайта «Чип и Дип»		277,00	277,00
38	Солнечная панель ФСМ-100М, 12В 1022×669×30 мм, монокристалл, Энергон (Delta)	2 шт	8495,00	16990,00
39	Солнечная панель ФСМ-100П, 12В 1022×669×30 мм, поликристалл, Энергон (Delta)	2 шт	6140,00	12280,00
40	Контроллер заряда аккумуляторных батарей 2210А, MPPT 12/24В 20А, EPSolar Tracer	1 шт	8060	8060
41	Аккумулятор 12В 40А*ч, Procolar-R RA12-40DG	1 шт	7070	7070
42	Прожектор 2×500Вт на штативе, галогенный (комплект 2 прожектора и штатив), NAVIGATOR NFL-T2H2-500-R7s/BLY	1 шт	3597,00	3597,00
43	Цифровой ампер-вольтметр 100В 50А, постоянный ток, SVAL0013NW-100V-E50A	4 шт	939,00	3576,00

СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ

Лист

83

44	Лицевая панель черная, 60×34 мм прозрачное окно 38×16 мм, FS60×34B-38×16	4 шт	73,00	292,00
45	Корпус пластиковый 135×95×47 мм, BOX-G010	4 шт	436,00	1744,00
46	Гнездо прикуривателя автомобильное с креплением	1 шт	80,00	76,00
47	Дюбель-гвоздь 8×120 потай	10 шт	5,5	52,3
48	Саморез ШСГД 3,5×16 потай, крупная резьба черный	70 шт	0,3	20,3
49	Сверло по бетону Ф8×200	1 шт	84,00	79,8
50	Саморез ШСГД 3,5×32 потай, крупная резьба черный	70 шт	0,4	26,6
51	Эмаль аэрозольная черная матовая 520 мл/270 гр, KUDO	2 шт	150,00	285,00
52	Грунт универсальный алкидный белый 520 мл/270 гр , KUDO	2 шт	150,00	285,00
53	Грунт универсальный алкидный черный 520 мл/270 гр , KUDO	1 шт	150,00	142,5
54	Эмаль аэрозольная белая гляncевая 520 мл/270 гр, KUDO	3 шт	150,00	427,5
55	Уголок мебельный 42×42×30×2,3 цинк	20 шт	8,00	152,00

Продолжение таблицы 54

56	Растворитель 646 0,25 л, Вершина	1 шт	30,00	28,5
57	Кисть плоская 38 мм нат. щетина Стандарт, MATRIX	2 шт	24,00	45,6
58	Краска водоэмульсионная ВД КЧ-26 1,6 кг, Бытхим	1 шт	100,00	95,00
59	Решетка вентиляционная круглая наклонная D130 вытяжная с фланцем D100, ЭРА	2 шт	40,00	76,00
60	Респиратор У2К	3 шт	30,00	85,5
61	Перчатки трикотажные 10 класс, х/б, обливная ладонь из латекса	3 пар	20	57,00
62	Очки защитные Profi с прямой вентиляцией, Stayer	3 шт	45,00	128,25
63	Светильник встраиваемый СВ 01-01 MR16 50Вт G5.3 белый, TDM	3 шт	52,00	148,2
64	Термоусаживаемая трубка ТУТнг 10/5 красная (1 м), REXANT	3 шт	26,00	74,1
65	Тумблер В-45М 27В-35А [195]	2 шт	230,00	437,00
66	Держатель для плавких вставок ДПВ 5×20 D=12, TDM	3 шт	25,00	71,25
67	Разъем плоский под пайку (мама) 7 мм, луженный [30], КВТ	30 шт	5,00	142,5
68	Лента светодиодная 30 LED/1 м.п. белый теплый негерм.	2 пог.	75,00	142,5
69	Лампа галогенная MR16 20W 12V (зеленый, синий, желтый), Feron	3 шт	40,00	114,00
70	Коробка монтажная С3М2 D68×45, GUSI	3 шт	8,00	22,8
71	Кабель акустический 2×0,5 мм 2 кр/ч, Proconnect	10 м	12,00	114,00
72	Кабель-канал 10×20. (2м), TDM	2 шт	32,00	60,8
73	Изолента 102 0,15мм×19мм×10м синяя, VINI TAPE	1 шт	35,00	33,25
74	Изолента 102 0,15мм×19мм×10м красная, VINI TAPE	1 шт	35,00	33,25
75	Блок питания для светодиодной ленты 24W 12V 2A	2 шт	350,00	665,00
76	DIN-рейка 11 см (6 модулей), TDM	1 шт	8,00	7,6
77	Кабель акустический 2×0,35 мм 2кр/ч, Proconnect	5 м	11,00	51,7
78	Кабель акустический 2×2,5 мм 2кр/ч, Proconnect	17 м	40,00	639,2
79	Колодка клеммная 12п 25А, TDM	2 шт	68,00	127,84
80	Колодка клеммная 4п 35А	6 шт	50,00	282,00
81	Колодка клеммная 4п 60А, TDM	1 шт	130,00	122,2
82	Колодка клеммная 6п 25А, TDM	2 шт	33,00	62,04
83	Кулачковый переключатель КПУ11-63/53 (1-0-2 3р), TDM	1 шт	1999,00	1879,06
84	Патрон карболитовый потолочный прямой Е27, черный, TDM	10 шт	29,00	272,6
85	ПВС 2×2,5 ГОСТ	10 м	45,00	423,00
86	ПуГВ -1×2,5	12 м	18,00	203,04
87	ПуГВ -1×16	4 м	115,00	432,4
88	Цифровой мультиметр ИМС-Ф1.Щ.1	1 шт	3894,00	3894,00

89	Вентилятор 5Bites [F12025S] (120×120, 1200 rpm, 25dBa, 3pin)	6 шт	170,00	1020,00
90	ДСП 1,83×2,5м×16мм	3 л	1020,00	3060,00
91	Распил	24 м	30,00	720,00
92	Бумага A4 Lomond самоклеящаяся неделенная (универсальная). Белая	1 уп	230,00	230,00
93	ПРКА 1×2,5	2 м	30,00	60,00
94	Кабель акустический 2×2,5 мм ² кр/ч, Proconnect	1 м	40,00	40,00
95	Саморез ШСГД 3,5×16 потай, крупная резьба черный	50 шт	0,3	15,00
96	Саморез ШСГД 3,5×32 потай, крупная резьба черный	20 шт	0,4	8,00
97	Дюбель-гвоздь 8×120 потай	3 шт	5,5	16,5
98	Разъем плоский под пайку (мама) 7 мм, луженный [30], КВТ	15 шт	5,00	75,00
99	ПуГВ -1×2,5	3 м	18,00	54,00
100	ШВВП 2×0,75	3 м	13,00	54,00

Окончание таблицы 54

101	Грунт универсальный алкидный белый 520 мл/270 гр, KUDO	1 шт	150,00	150,00
102	Краска аэрозольная акриловая 400 мл черный матовый, Bosny	1 шт	190,00	190,00
103	Пакет малый	1 шт	1,00	1,00
104	Кабель-канал 40×25 мм белый (1 шт = 2 м)	1 шт	51,00	51,00
105	Решетка вентиляционная белая 1,4×25×18 см	4 шт	38,00	152,00
106	Решетка вентиляционная белая 22,9×39,9×48,9	2 шт	68,00	136,00
107	Навес меб. Р-обр. цинк 3,7×0,15×6,8 см (2 шт)	2	104,00	208,00
108	Саморез ШСГД 3,5×32 потай, крупная резьба черный	30 шт	0,4	12,00
109	Саморез ШСГД 3,5×16 потай, крупная резьба черная	40 шт	0,3	12,00
110	Саморез ШСГД 3,5×35 потай, крупная резьба черный	20 шт	0,5	10,00
111	Угол ПВХ 30×30×2700 мм белый	1 шт	26,00	26,00
112	Угол ПВХ 10×10×2700 мм белый	1 шт	9,00	9,00
113	Розетка белая 6×6×6 см WESSEN ХИТ Б/З СП	1 шт	41,00	41,00
114	Кром.лента 14×10×2 см мел С/КЛ 19 мм белый (20 м)	1 шт	142,00	142,00
115	Уголок мебельный 42×42×30×2,3 цинк	10 шт	8,00	80,00
116	Поликарбонат монолитный т.2 мм (м ²)	0,349	1200,00	418,8
117	Розетка USB встраиваемая, автомобильная, влагозащитная с 2 пор	1 шт	5460,4	560,4
118	Текстолит т.2 мм	3,962 кг	450,00	1782,9
119	Набор коронок по дереву Ф19, 22, 29, 32, 38, 44, 51, 64, 76, 89, 102, 127 мм	1 шт	790,00	790,00
120	Сверло по металлу Ц/Х Ф3	1 шт	23,00	23,00
121	Рейка ХВ строг АВ 20×45×3000 мм	2 шт	57,00	114,00
122	Угол ПВХ 10×10×2700 мм белый	1 шт	10,00	10,00
123	Угол ПВХ 30×30×2700 мм белый	3 шт	34,00	120,00
124	Навес меб. Р-обр. цинк 3,7×0,15×6,8 см (2 шт)	5 шт	104,00	520,00
125	Инвертор А-Э СТРАЖ-3000	1 шт	21020,00	21020,00
Итого:				116764,78

Сводные затраты составили 116764,78 рублей.

5 Сборка лабораторного стенда

Перед сборкой лабораторного стенда разрабатываются чертежи. Работы по сборки начинаются с пульта управления. Трехмерная модель пульта управления представлена на рисунке 93.

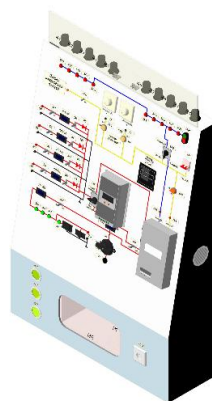


Рисунок 93 – Внешний вид пульта управления

На готовый короб пульта управления монтируется приборная панель. Отдельно от пульта управления собираются установки имитации инсоляции. Установка имитации инсоляции изображена на рисунке 94.

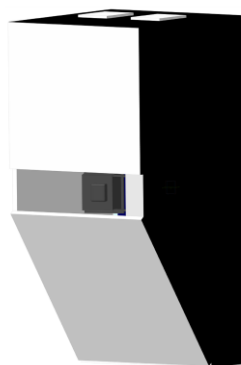


Рисунок 94 – Внешний вид установки имитации инсоляции

Заключительным этапом сборки является крепеж установок к стене и подключение к сети и заземлению.

5.1 Сборка пульта управления

Стенки корпуса пульта управления изготовлены из древесно-стружечной плиты (ДСП). Закреплены стенки между собой на шуруп-саморезы ШСГД 3,5×32 и ШСГД 3,5×35. Для придания жесткости конструкции в угловых стыках установлены цинковые мебельные уголки. Снаружи конструкция окрашена белой водо-дисперсной краской ВД КЧ-26. Краска ВД КЧ-26 произведена на основе стиролбутадиенового латекса и предназначена для работ внутри помещений, также эта краска пожаровзрывобезопасна. Боковые стенки окрашиваются черной аэрозольной эмалью. После окрашивания угловые стыки закрываются углом из поливинилхлорида (ПВХ). На верхней стенке пульта управления

устанавливаются карболитовые потолочные патроны с цоколем E27, предназначенные для электрической нагрузки в виде осветительных приборов. Перед патронами размещен прозрачный экран из поликарбоната монолитного. В нижней части располагаются встраиваемые светильники СВ 01-01 для ламп MR16, розетка в монтажной коробке, окно из поликарбоната монолитного. Пространство за окном также окрашивается в белый цвет краской ВД КЧ-26. По периметру окна устанавливается подсветка, выполненная из светодиодной ленты. Кромка отверстия окна проклеивается кромочной лентой белого цвета. Вентиляционные отверстия в боковых стенках закрываются круглыми вентиляционными решетками. Для крепления к стене используются цинковые мебельные навесы. Чертеж пульта управления представлен на рисунке 95.

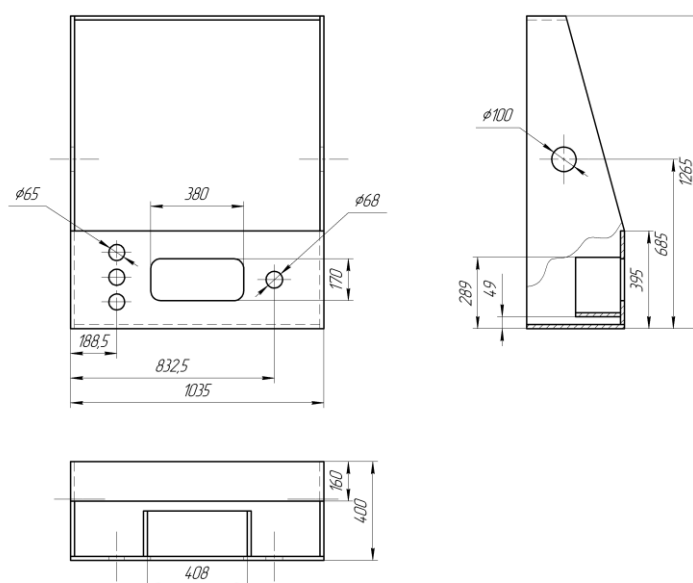


Рисунок 95 – Чертеж пульта управления

5.2 Сборка панели управления

Панель управления изготавливается из текстолита толщиной 2 мм. В текстолите рассверливаются сверлами и коронками отверстия под оборудование. Квадратные отверстия вырезаются обрезным кругом при помощи многофункционального инструмента Dremel. Панель грунтуется алкидным грунтом и окрашивается аэрозольной белой глянцевой эмалью. Крепится на пульт управления при помощи шуруп-саморезов ШСГД 3,5×16. Угловые стыки закрываются уголком из ПВХ. На закрепленную панель управления устанавливается оборудование. Так же осуществляется коммутация оборудования с обратной стороны панели управления. На лицевую сторону панели управления наносится мнемосхема электрических соединений. Чертеж панели управления изображен на рисунке 94.

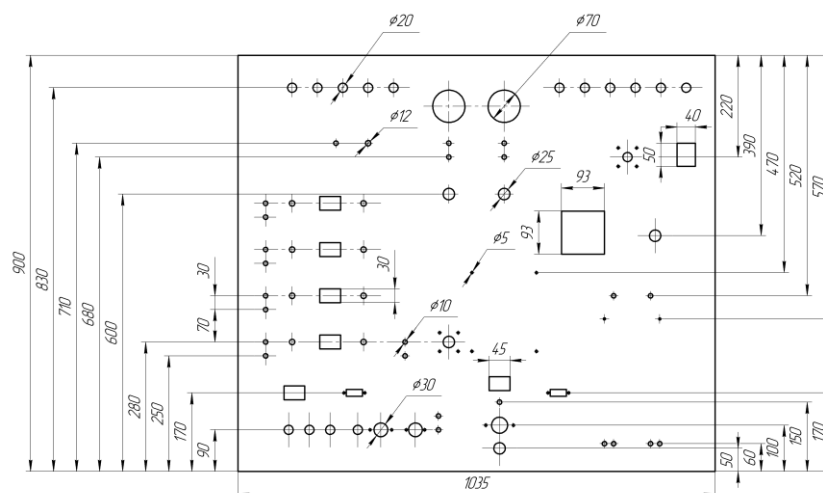


Рисунок 94 – Чертеж панели управления

5.3 Сборка установок имитации инсоляции

В лабораторном стенде используются две установки имитации инсоляции. Установки собраны из ДСП толщиной 16 мм. Стенки между собой соединены шуруп-саморезами ШСГД 3,5×32 и ШСГД 3,5×35. Для придания жесткости конструкции в угловых стыках установлены цинковые мебельные уголки. Снаружи и внутри конструкция окрашена белой водо-дисперсной краской ВД КЧ-26. Боковые стенки окрашены черной аэрозольной эмалью. Внутри корпуса установки располагается ФЭМ. На верхней стенке просверливаются при помощи коронок два отверстия диаметром 120 мм для установки вентиляторов активного охлаждения. На нижней стенке – одно отверстие для вентилятора. Вентиляторы на верхней стенке работают на выдув нагретого воздуха, вентилятор нижней стенки – на вдув охлажденного воздуха из внешней среды. Вентиляционные отверстия закрываются вентиляционными решетками. Прожектор крепится к боковой стенке установки со внутренней стороны. Кабель питания прожектора прокладывается по кабельному каналу, проложенному по наружной стороне боковой стенки. Установка имитации инсоляции крепится к стене при помощи цинковых мебельных навесов. В нижнем левом углу фронтальной панели располагается люксметр. Датчик люксметра выведен внутрь корпуса установки. Чертеж установки имитации инсоляции представлен на рисунке 95.

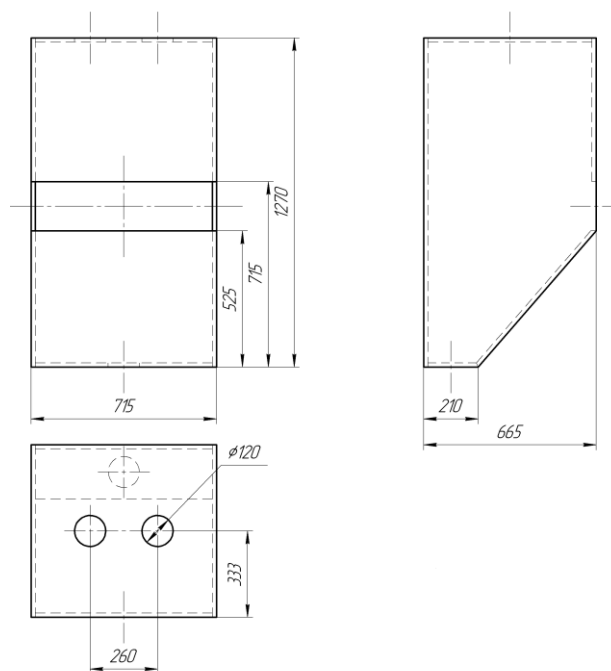


Рисунок 95 – Чертеж установки имитации инсоляции

Собранный и смонтированный лабораторный стенд в аудитории А104 учебного корпуса Политехнического института Сибирского федерального университета, расположенного по адресу ул. Ленина, д. 70, изображен на рисунке 96.

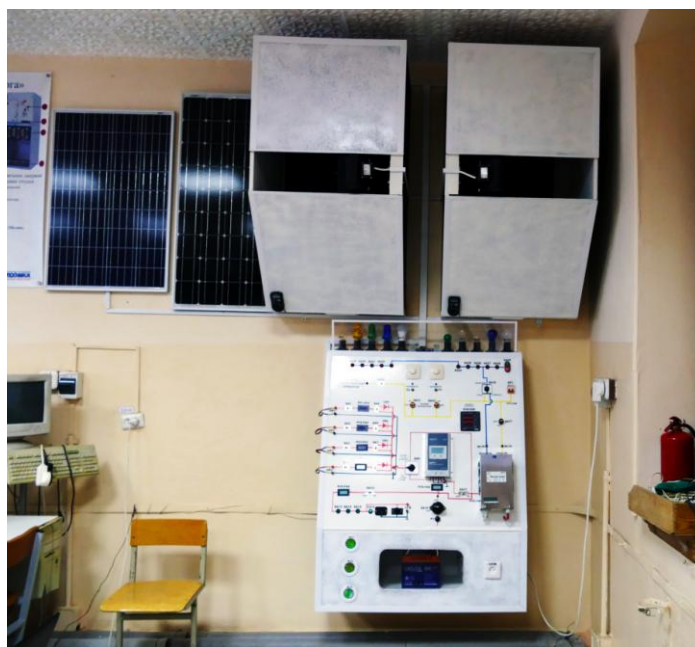


Рисунок 96 – Фотография лабораторного стенда

6 Пусконаладочные работы

Для гарантированной стабильной и корректной работы лабораторного стенда произведены пусконаладочные работы, заключающиеся в калибровке измерительных приборов (включением в систему точного измерительного прибора), программировании режимов инвертора по заряду АКБ и аварийному отключению (согласно инструкции), проверке эффективности системы охлаждения установки имитации солнечной инсоляции (замеры температуры пирометром при работающих прожекторах и вентиляторах).

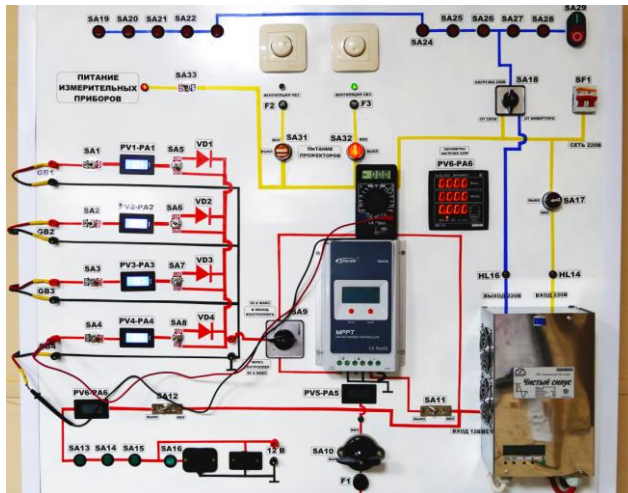


Рисунок 97 – Калибровка измерительных приборов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан проект лабораторного стенда, моделирующего работу интеллектуальной сети и ВИЭ, для опытного изучения режимов работы и снятия характеристик фотоэлектрических модулей. Лабораторный стенд предназначен для проведения лабораторных работ по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» у студентов кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Произведены расчет и выбор основного фотоэлектрического и электрического оборудования лабораторного стенда. По расчетам оборудование удовлетворяет требованиям интеллектуальной системы электроснабжения загородного дома.

Разработана электрическая схема лабораторного стенда с учетом всех требований проекта.

Определены токи коротких замыканий и максимальные рабочие токи возможные в ветвях схемы электрических соединений лабораторного стенда.

Выбрано коммутационное, измерительное и прочее вспомогательное оборудование, соединительные провода.

Произведен сметный расчет, по итогам которого составлена сводная смета затрат.

Осуществлена сборка лабораторного стенда в аудитории А104 учебного корпуса Политехнического института Сибирского федерального университета, расположенного по адресу ул. Ленина, д. 70.

Произведены пусконаладочные работы, заключающиеся в калибровке измерительных приборов, проверке эффективности работы системы охлаждения установок имитации инсоляции, программировании инвертора и контроллера.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АКБ – Аккумуляторная батарея;
ВИП – Вторичный источник питания;
ВИЭ – Возобновляемый источник энергии;
ДСП – Древесно-стружечная плита;
ИБП – Источник бесперебойного питания;
КЗ – Короткое замыкание;
КПД – Коэффициент полезного действия;
НДС – Налог на добавленную стоимость;
ПВХ – Поливинилхлорид;
ФЗ – Федеральный закон;
ФЭМ – Фотоэлектрический модуль;
ФЭУ – Фотоэлектрическая установка;
ШСГД – Шуруп-саморез гипсокартон-дерево;
ЭДС – Электродвижущая сила.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России от 18 октября 2007 г. № 250-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – 2018.
2. Мейтин, М. Фотовольтаика : материалы, технологии, перспективы. Пусть всегда будет Солнце / М. Мейтин // Электроника-НТБ. – 2000. – № 6. – С. 40–47.
3. Илларионова, А. В. Интеллектуальные энергетические сети как одно из направлений инновационного развития российской экономики / А. В. Илларионова // Молодой ученый. — 2010. — №9. — С. 122-127.
4. Характеристики ФЭМ [Электронный ресурс] // ООО «Эксморк Рус» . – Режим доступа: <http://invertory.ru/product/sb-exmork-100-vatt-12v/>.
5. Таблицы инсоляции для расчета ФЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solbat.su/meteorology/insolation>.

6. On-line калькулятор солнечной, ветровой и тепловой энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html>.
7. Инструкция по эксплуатации DELTA GX 12-40 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://osbez-cctv.ru/upload/iblock/23f/23faf72451facb64aae62f369e3ab569.pdf>.
8. Виды контроллеров для солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricadom.com/kontroller-dlya-solnechnykh-batarej-i-kak-vybirat.html>
9. Инструкция по эксплуатации EPSolar Tracer 2210A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solarmir.ru/docs/tracer-mppt-seriya-a.pdf>.
10. Инструкция по эксплуатации СТРАЖ-3000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nsk-electro.ru/Teh_manuals/A_electronics/strazh-3000-manual.pdf.
11. Жуков, В. В. Короткие замыкания в электроустановках постоянного тока [Текст]/ В. В. Жуков. – М.: Издательство МИ, 2005. – 160 с.
12. ГОСТ 29176-91 Короткие замыкания в электроустановках. – Введ. 01.07.1992. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – 63 с.
13. Переключатели тумблерные серии KN3(B) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belchip.by/sitedocs/kn3.pdf>.
14. Переключатели тумблерные ПП-45М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elektromark.ru/data/descriptions/output/vyklyuchateli-v45mk.pdf>
15. Выключатель клавишный круглый 36-2588 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product0/8444849220>.
16. Выключатель клавишный круглый RWB-214 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product0/8000160677>.
17. ГОСТ 27382-87 Переключатели поворотные. Общие технические условия. – Введ. 01.07.1988. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 44 с.
18. Шунт измерительный стационарный 75ШИП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shunt.kip-postavka.ru/download/Техническое_описание_75ШИС.pdf.
19. Крючков, И. П. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие для вузов [Текст]/ И. П. Крючков, В.А, Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. И.П. Крюкова и В.А, Старшинова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 568 с.
20. Держатели предохранителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://radan.ucoz.ru/instrukcia/derzhately_predokhranitelej.pdf.
21. ГОСТ 22483-77 (СТ СЭВ 3466-81) Жилы токопроводящие медные и алюминевые. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 42 с.

22. Правила устройства электроустановок [Текст] : Минэнерго России. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2003. – 648 с.

23. Крючков, И. П. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст]/ И. П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А, Старшинов и др.; Под ред. И.П. Крюčkова и В.А, Старшинова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 416 с.

24. Автоматический выключатель ВА47-29 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tdmelectric.ru/collection/va47-29-khar-ka-v/product/avt-vyklva47-29-2r-16a-45ka-h-ka-v-tdm>.

25. Выключатели тумблерные двухполюсные KN3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asenergi.com/catalog/tumblerly/kn3.html>.

26. Кулачковые переключатели серии КПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.electronova.ru/users/modulnoe%20TDM/TDM_KУЛАЧКОВЫЕ%20ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ%20СЕРИИ%20КПУ.pdf.

27. Пакетный выключатель ПВ2-63 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zbozhe.ru/product/4001/>.

28. Кабель акустический [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib.chipdip.ru/111/DOC001111322.pdf>

29. ГОСТ 31947-2012 Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. – Введ. 01.01.2014. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 38 с.

30. ГОСТ 7399-97 Провода и шнуры на номинальное напряжение до 450/750 В. – Введ. 01.01.1998. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 63 с.

31. Лицевая панель FS60x34B-38x16 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/093/DOC001093853.pdf>

32. ИМС-Ф1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/re_ims-f1_1627.pdf

33. Проектор NAVIGATOR 2x500Вт NFL-T2H2-500-R7s/BLY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.220-volt.ru/catalog-153027/#ui-tabs-description>

34. Вентилятор 5Bites [F12025S-3] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://technopoint.ru/product/c293081a7dde3361/ventilator-5bites-f12025s-3-sale/>

35. Розетка USB встраиваемая AIRLINE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://motoroil24.ru/catalog/splitters-and-chargers/model-rozetka-usb-vstraivayemaya-airline/>

36. Инструкция по эксплуатации РД-09 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fotorele.net/pdf/elektrosvigatel_rd-09.pdf

37. Лента светодиодная 30 LED/1м.п. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.virage24.ru/shop/svetodiodnaya-lenta-30-led-1m-p-belyy-teplyy-negerm/>

						СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ	
							Лист
							95

ПРИЛОЖЕНИЕ А Электрическая схема

						СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ	Лист
							96

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Внешний вид пульта управления

						СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ	Лист
							97

ПРИЛОЖЕНИЕ В Пульт управления

						СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ	Лист
							98

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Панель управления

						СФУ ПИ ВКР - 13.03.02.04 - 071401038 ПЗ	Лист
							99

ПРИЛОЖЕНИЕ Д Внешний вид установки имитации инсоляции

ПРИЛОЖЕНИЕ Е Установка имитации инсоляции